



**SKRIPSI – TK141581**

**PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT DALAM  
MINYAK PELUMAS BEKAS MENGGUNAKAN *THIN FILM*  
*EVAPORATOR***

**Written by:**

**Alghifari Jabbar Rifliansah  
NRP. 02211440000071**

**Robbi Habibi Malik Utomo  
NRP. 02211440000103**

**Advisor:**

**Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19530719 197803 1 001**

**Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 19730615 199903 1 003**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

**2018**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**DESIGN OF HEAVY FRACTION SEPARATION PROCESS IN  
USED LUBE OIL USING THIN FILM EVAPORATOR**

**Written by:**

**Alghifari Jabbar Rifliansah  
NRP. 02211440000071**

**Robbi Habibi Malik Utomo  
NRP. 02211440000103**

**Advisor:**

**Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19530719 197803 1 001**

**Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 19730615 199903 1 003**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS MENGGUNAKAN *THIN FILM* *EVAPORATOR*

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik  
Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

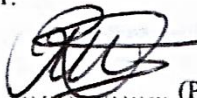
Oleh :

Alghifari Jabbar Rifliansah  
Robbi Habibi Malik Utomo

NRP. 02211440000071  
NRP. 02211440000103

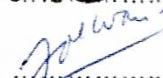
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D



(Pembimbing 1)

2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D



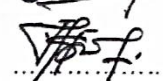
(Pembimbing 2)

3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc



(Penguji I)

4. Siti Nurkhamidah, S.T., M.Eng.,



(Penguji II)

5. Hakun Wirawasista A., S.T., M.MT



(Penguji III)



Surabaya, 24 Juli 2018

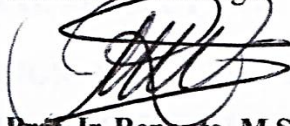
## LEMBAR PERSETUJUAN

Laporan skripsi dengan judul :

**“PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT  
DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS MENGGUNAKAN  
THIN FILM EVAPORATOR”**

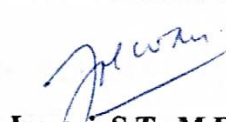
Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan:

Dosen Pembimbing I



**Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D**  
**NIP. 19530719 197803 1 001**

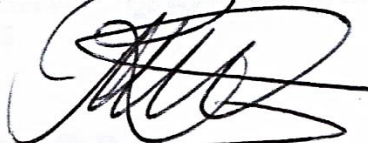
Dosen Pembimbing II



**Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D**  
**NIP. 19730615 199903 1 003**

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses  
Departemen Teknik Kimia FTI-ITS



**Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D**  
**NIP. 19530719 197803 1 001**

Penyusun



**Alghifari Jabbar Rifliansah**  
**NRP. 02211440000071**



**Robbi Habibi Malik Utomo**  
**NRP. 02211440000103**

# **PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS MENGUNAKAN *THIN FILM EVAPORATOR***

Nama Mahasiswa : 1. Alghifari Jabbar Rifliansah  
NRP. 02211440000071  
2. Robbi Habibi Malik Utomo  
NRP. 02211440000103  
Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D.  
2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Minyak pelumas bekas merupakan limbah berbahaya yang harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Proses pengolahan minyak pelumas bekas terdiri dari beberapa tahap, salah satunya meliputi penghilangan fraksi berat hidrokarbon yang masuk pada tahap pemisahan akhir. Beberapa peralatan mampu digunakan untuk melakukan proses ini, salah satunya adalah *thin film evaporator*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek suhu dan putaran rotor terhadap perpindahan panas pada *thin film evaporator*, sehingga dapat diketahui performa *thin film evaporator* dalam melakukan distilasi pemisahan fraksi berat hidrokarbon. Parameter yang digunakan sebagai acuan adalah fraksi uap serta komposisi produk uap. Hasil dari simulasi menggunakan *software* Aspen Plus kemudian divalidasi dengan perhitungan manual menggunakan *software* Matlab. Variabel yang ditetapkan adalah tekanan yaitu 2.53 kPa. Sedangkan variabel yang akan divariasikan yaitu suhu dari 250 – 330 °C dan putaran rotor dari 6 – 60 rpm. Dari penelitian ini didapatkan hubungan antara suhu operasi dan putaran rotor pada *thin film evaporator* berbanding lurus terhadap fraksi uap yang dihasilkan. Kondisi operasi optimum pada penelitian ini pada suhu 330 °C dan putaran rotor 30 RPM.

**Kata kunci :** Oli bekas, Pemodelan evaporator, Simulasi *software*, *Thin film evaporator*

# **HEAVY FRACTION SEPARATION FROM USED LUBE OIL PROCESS DESIGN USING THIN FILM EVAPORATOR SYSTEM**

Name : 1. Alghifari Jabbar Rifliansah  
NRP. 02211440000071  
2. Robbi Habibi Malik Utomo  
NRP. 02211440000103  
Department : Teknik Kimia FTI-ITS  
Lecturer : 1. Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D.  
2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Used lube oil is a dangerous waste that must be treated before disposed in environment. Used lube oil treatment process consists of several stages, one of them is the separation of heavy fraction. Some equipment system can be used to complete this process, and thin film evaporator is chosen for this research. The goal of this research is to understand the effect of temperature and rotor rotation in heat transfer that happen in the distillation process using thin film evaporator. Simulation using Aspen Plus is used and will be validated by manual calculation using Matlab. Temperature is varied between 250 – 330 °C and rotor rotation will be varied between 6 – 60 rotations per minute in a vacuum pressure of 2.53 kPa. From this research the relation between operating temperature and rotor rotation thin film evaporator to the vapor fraction produced is directly proportional. The optimum operating condition in this research was at the temperature 330 °C and 30 RPM for agitator rotational speed.

**Keywords: Modeling of evaporator, Software simulation, Thin-film evaporator, Used lube oil**

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan berkat dan rahmat-Nya kepada penyusun sehingga penyusun mampu menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Perancangan Proses Pemisahan Fraksi Berat dalam Minyak Pelumas Bekas Menggunakan *Thin Film Evaporator*”** serta mampu menyelesaikan laporan ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari beberapa pihak, Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas rahmat karunianya penulis dapat menyelesaikan laporan Pra Desain Pabrik ini.
2. Orang tua penulis yang telah memberikan banyak doa, motivasi, kepercayaan dan dukungan selama penulis mengerjakan tugas Pra Desain Pabrik.
3. Bapak Prof. Ir. Renanto, MSc., Ph.D, selaku Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses sekaligus Dosen Pembimbing kami, atas bimbingan dan saran yang diberikan
4. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Dosen Pembimbing kedua kami.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Kimia FTI – ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia.
6. Semua teman-teman seperjuangan Perdalpro *Crew*
7. Teman-teman K-54 yang telah menemani selama suka duka pembuatan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih berada jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari semua pihak bagi kesempurnaan laporan ini.

Penyusun berharap pula laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penyusun pada khususnya. Terima kasih.

Surabaya, 24 Juli 2018

Penyusun



## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii

### **BAB I : PENDAHULUAN**

I.1. Latar belakang .....	I-1
I.2. Rumusan masalah .....	I-2
I.3. Tujuan penelitian .....	I-2
I.4. Batasan masalah.....	I-3
I.5. Manfaat penelitian.....	I-3

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

II.1. Minyak pelumas ( <i>lubricating oil</i> ) .....	II-1
II.2. Minyak pelumas bekas ( <i>used lube oil</i> ).....	II-5
II.3. Distilasi .....	II-9
II.4. Desain kolom distilasi .....	II-10

II.5. Macam-macam evaporator .....	II-12
II.6. <i>Thin film evaporator</i> .....	II-13
II.7. Pemilihan aplikasi termodinamika untuk pemodelan proses .....	II-20
II.8. Penelitian terkait .....	II.21

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

III.1. <i>Flowchart</i> penelitian .....	III-1
III.2. Studi literatur .....	III-2
III.3. Pemilihan model termodinamika .....	III-2
III.4. Membuat pemodelan <i>thin film evaporator</i> menggunakan software Aspen Plus .....	III-2
III.5. <i>Running</i> simulasi dengan perangkat lunak .....	III-3
III.6. Variabel yang ditetapkan .....	III-4
III.7. Variabel yang dimanipulasi .....	III-4
III.8. Analisa hasil proses .....	III-5

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

IV.1. Simulasi Proses .....	IV-1
IV.2. Analisa Hasil .....	IV-3
IV.2.1 Perbandingan putaran rotor dengan koefisien perpindahan panas .....	IV-4
IV.2.2 Variabel putaran rotor terhadap fraksi uap dan laju alir .....	IV-5

IV.2.3 Variabel suhu operasi terhadap fraksi uap dan laju alir .....	IV-9
IV.2.4 Variabel suhu operasi terhadap komposisi produk .....	IV-15
IV.2.5 Validasi menggunakan perhitungan manual .....	IV-18
IV.2.6 Komposisi produk pada kondisi optimum .....	IV-19

## **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

V.1. Kesimpulan .....	V-1
V.2. Saran .....	V-1

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xviii</b>
-----------------------------	--------------

## **APPENDIKS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II.1.</b> Struktur kimia minyak pelumas bekas.....	II-6
<b>Gambar II.2.</b> <i>Vertical thin film evaporator</i> .....	II-14
<b>Gambar II.3.</b> Skema dari <i>thin film evaporator</i> .....	II-16
<b>Gambar II.4.</b> Skema dari penguapan lapisan tipis dua komponen cairan.....	II-18
<b>Gambar II.5.</b> Hambatan perpindahan panas pada <i>thin film evaporator</i> .....	II-19
<b>Gambar II.6.</b> <i>Flowsheet</i> simulasi dengan Aspen Plus dari proses penguapan .....	II-22
<b>Gambar IV.1.</b> Perbandingan Antara Koefisien Perpindahan Panas Dengan Kecepatan Putaran Rotor.....	IV-5
<b>Gambar IV.2.</b> Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Suhu 250°C dan Tekanan 2.53 kPa.....	IV-6
<b>Gambar IV.3.</b> Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Suhu 270°C dan Tekanan 2.53 kPa.....	IV-6
<b>Gambar IV.4.</b> Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Suhu 290°C dan Tekanan 2.53 kPa.....	IV-6
<b>Gambar IV.5.</b> Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Suhu 310°C dan Tekanan 2.53 kPa.....	IV-7
<b>Gambar IV.6.</b> Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Suhu 330°C dan Tekanan 2.53 kPa.....	IV-7
<b>Gambar IV.7.</b> Grafik Fraksi Uap Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Berbagai Suhu Operasi Pada Tekanan 2.53 kPa .....	IV-8
<b>Gambar IV.8.</b> Grafik Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor <i>Thin Film Evaporator</i> Pada Berbagai Suhu Operasi Pada Tekanan 2.53 kPa.....	IV-8

- Gambar IV.9.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 6 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-10
- Gambar IV.10.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 10 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-10
- Gambar IV.11.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 20 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-11
- Gambar IV.12.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 30 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-11
- Gambar IV.13.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 40 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-12
- Gambar IV.14.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 54 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-12
- Gambar IV.15.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 60 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-13
- Gambar IV.16.** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-13
- Gambar IV.17.** Grafik Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaorator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa.....IV-14

- Gambar IV.18.** Grafik % Komposisi *Lube Oil* Pada Produk Uap vs Suhu Operasi Thin Film Evaporator Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-15
- Gambar IV.19.** Grafik Laju Alir *Lube Oil* Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-16
- Gambar IV.20.** Grafik % Komposisi Residu Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa .....IV-16
- Gambar IV.21.** Grafik Laju Alir Residu Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa.....IV-17

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II.1.</b> Kategori minyak pelumas dasar oleh API.....	II-4
<b>Tabel II.2.</b> Kandungan senyawa aditif dalam minyak pelumas bekas .....	II-8
<b>Tabel II.3.</b> Sifat fisis minyak pelumas bekas .....	II-9
<b>Tabel II.4.</b> Pemilihan evaporator berdasarkan karakteristik produk .....	II-12
<b>Tabel II.5.</b> Model termodinamika.....	II-21
<b>Tabel IV.1.</b> Komposisi Aliran Masuk Sistem .....	IV-1
<b>Tabel IV.2.</b> Pembagian Grup Minyak Pelumas Bekas .....	IV-3
<b>Tabel IV.3.</b> Perbandingan Hasil Simulasi <i>Thin Film Evaporator</i> Menggunakan Aspen Plus dan Perhitungan Matlab Pada Suhu Operasi 310°C.....	IV-18
<b>Tabel IV.4.</b> Komposisi Produk Atas Pada Kondisi Optimum..	IV-19
<b>Tabel IV.5.</b> Komposisi Group Produk Atas Pada Kondisi Optimum .....	IV-20

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Minyak pelumas bekas merupakan sumber daya yang bernilai. Namun dalam penggunaannya, minyak pelumas terkontaminasi dengan berbagai macam komponen pengotor, seperti partikel besi, baja, tembaga, timbal, zink, barium dan kadmium (2 logam yang sangat beracun), sulfur, air dan kotoran lain. Sebagai tambahan, konstituen organik dalam minyak pelumas juga mengalami perubahan selama digunakan dan menghasilkan kontaminan. Dengan demikian, minyak pelumas tidak bisa lagi digunakan karena beberapa alasan, yaitu akumulasi kontaminan dan adanya perubahan struktur kimia pada minyak pelumas. Karena adanya kontaminan ini, minyak pelumas tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan karena memiliki risiko yang lebih berbahaya dibandingkan polusi akibat *crude oil*. Oleh karena itu perlu ada penanganan lebih lanjut untuk limbah minyak pelumas ini.

Ada beberapa solusi untuk menangani limbah minyak pelumas bekas. Cara pertama adalah menggunakan minyak pelumas bekas sebagai bahan bakar. Cara yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk menangani minyak pelumas bekas adalah dengan mengolah minyak pelumas bekas kembali menjadi minyak pelumas yang dapat digunakan untuk kebutuhan aslinya. Dalam pengolahan minyak pelumas bekas, ada beberapa tahapan proses yang harus dilalui. Salah satu proses ditujukan untuk memisahkan fraksi berat minyak pelumas yang bebas dari residu. *Thin film evaporator* adalah salah satu alat yang bisa digunakan untuk melakukan proses ini. Dalam proses pemisahan ini, *thin film evaporator* menyebarkan umpan yang akan didistilasi pada dinding *evaporator*. Lapisan tipis yang terbentuk kemudian terpisah, dengan fraksi minyak ringan akan menuju ke distilat, sedangkan fraksi minyak berat akan menuju ke bagian residu. Pemanasan dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan menggunakan koil



pemanas di dalam *evaporator* atau dengan menggunakan pemanasan di awal sebelum masuk ke dalam *evaporator*. *Thin film evaporator* menawarkan keuntungan ganda dari waktu tinggal yang singkat serta terbentuknya film tipis yang mengoptimalkan proses pemisahan.

Dari pemaparan di atas, maka perlu dilakukan perancangan unit *thin film evaporator* melalui eksperimen langsung untuk beberapa variabel. Perlu juga dilakukan simulasi menggunakan Aspen Plus<sup>TM</sup> dan MATLAB<sup>TM</sup> untuk memvalidasi hasil eksperimen serta menentukan kondisi operasi yang optimum untuk proses pemisahan ini.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah :

1. Pengaruh suhu operasi dan putaran rotor pada *thin film evaporator* terhadap fraksi uap yang dihasilkan proses pemisahan pada *thin film evaporator*.
2. Perancang dan simulasi *thin film evaporator* guna memisahkan *lube oil* dari fraksi berat minyak pelumas bekas dengan menggunakan Aspen Plus<sup>TM</sup> dan MATLAB<sup>TM</sup>.
3. Kondisi operasi *thin film evaporator* yang optimum guna memisahkan minyak pelumas dari fraksi berat minyak pelumas bekas.

## **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efek dari suhu operasi dan putaran rotor pada *thin film evaporator* terhadap fraksi uap yang dihasilkan proses pemisahan pada *thin film evaporator*.
2. Mendapatkan model perancangan *thin film evaporator* dengan menggunakan Aspen Plus<sup>TM</sup> dan MATLAB<sup>TM</sup>

3. Mengetahui kondisi operasi *thin film evaporator* yang optimum guna memisahkan minyak pelumas dari fraksi berat minyak pelumas bekas.

#### **I.4. Batasan Masalah**

Agar tidak terjadi perluasan dalam penelitian ini, maka perlu adanya pembatasan masalah, yang dalam hal ini terbatas meliputi :

1. Perangkat lunak yang digunakan untuk merancang dan mensimulasikan proses adalah Aspen Plus<sup>TM</sup> dan MATLAB<sup>TM</sup>.

#### **I.5. Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah

1. Memahami efek suhu operasi dari *thin film evaporator* terhadap proses pemisahan minyak pelumas dari fraksi berat minyak pelumas bekas.
2. Model yang diperoleh dapat digunakan untuk merancang *thin film evaporator* untuk keperluan pemisahan selanjutnya.
3. Mendapatkan kondisi operasi optimum pada proses pengolahan minyak pelumas bekas secara khusus pada *thin film evaporator*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Minyak Pelumas (*Lubricating Oil*)**

Minyak pelumas adalah suatu produk minyak bumi yang termasuk fraksi distilat berat dan mempunyai trayek titik didih 300 °C. Minyak pelumas merupakan salah satu produk minyak bumi. Fungsi minyak pelumas meliputi : mengurangi gesekan dan keausan, mendinginkan komponen mesin, membantu merapatkan kompresi serta membersihkan komponen mesin. Minyak pelumas yang digunakan untuk melumasi mesin mempunyai persyaratan antara lain : tahan suhu tinggi, tahan karat dan korosi, mampu mencegah terbentuknya endapan, mampu mencegah kemacetan cincin piston, mampu mencegah terjadinya busa serta mampu mengalir pada suhu rendah (Subiyanto, 1989).

Pemilihan kekentalan minyak pelumas yang kurang tepat dapat menghambat kerja mesin. Minyak pelumas yang terlalu encer tidak akan berfungsi dengan baik dan bila terlalu kental akan menghambat kerja mesin karena tahanan yang tinggi (Siswanti, 2010). Properti minyak pelumas dasar sebagai berikut:

*Aniline Point*, adalah ukuran dari kemampuan *base stock* untuk bertindak sebagai pelarut dan ditentukan dari suhu yang mana sesuai dengan volume *aniline* dan *base stock* yang larut (ASTM D611). *Aniline Point* tinggi berarti *base stock* yang mengandung banyak parafin, sedangkan *aniline point* rendah (<100 °C) berarti *naphthenic or aromatic stock*. (Speight, 2014)

*Cloud Point*, adalah suhu di mana kristal lilin bentuk pertama sebagai awan mikrokristal. Oleh karena itu lebih tinggi dari *pour point*, di mana kristal begitu banyak yang mana alirannya dicegah. Metode ASTM lama adalah D2500, dengan tiga metode baru menjadi ASTM D5771, ASTM D5772, dan ASTM D5773. Banyak lembar inspeksi *base stock* tidak lagi memberikan *cloud point*. *Cloud point* bisa di 3°C hingga 15°C di atas *pour point* yang sesuai. (Speight, 2014)

*Color*, ekstrak-pelarut/*solvent dewaxed stock* akan mempertahankan beberapa warna yang diukur dengan ASTM D1500. *Hydrocracked stock*, ketika *hydrofinished* pada tekanan tinggi, biasanya air putih dan warna terbaik mereka diukur pada skala warna Saybolt (ASTM D156, ASTM 2012). (Speight, 2014)

*Density* dan *API Gravity*, pengetahuan tentang densitas sangat penting ketika menangani jumlah *stock* dan nilai yang dapat dilihat sesuai dengan jenis *base stock*. Perhitungan alternatif adalah skala gravitasi API dimana:

$$\text{API gravity} = (141.5 / \text{specific gravity}) - 131.5$$

Densitas meningkat seiring dengan viskositas, *boiling range*, dan kandungan aromatis dan naphta. Namun berkurang dengan naiknya konsentrasi isoparafin dan viskositas index. (Speight, 2014)

*Distillation*, saat ini distilasi fisis dapat dianalisa dengan ASTM D86, metode ini diukur pada tekanan atmosfer dan sesuai untuk *light lube*, atau dengan distilasi vakum menggunakan ASTM D1160 untuk *heavy lube*. Analisa distilasi biasanya menggunakan gas kromatografi dan sering dikenal dengan *Simulate Distillation* (SimDist) atau gas kromatografi menggunakan ASTM D2887. Metode ini menghasilkan hasil yang akurat. Metode ini dapat diterapkan untuk bahan yang memiliki *boiling point* kurang dari 538°C. (Speight, 2014)

*Flash Point*, suhu di mana ada uap yang cukup diatas sampel cairan untuk tersulut bila terkena api dalam keadaan terbuka dan merupakan acuan pada produk yang digunakan sebagai spesifikasi keselamatan umum. Titik nyala adalah refleksi dari titik didih suatu bahan di ujung depan kurva distilasi *base stock*. Titik nyala umumnya meningkat dengan tingkatan viskositas dan titik nyala yang tinggi untuk viskositas yang diinginkan. Metode pengujian Cleveland Open Cup (ASTM D92) adalah yang paling sering digunakan untuk *base stock* di Amerika Utara, meskipun tes Pensky-Martens (ASTM D93) terkadang digunakan. (Speight, 2014)

*Pour point*, mengukur temperature yang paling tinggi hingga *base stock* tidak mengalir, dan untuk *paraffinic base stock*, *pour point* biasanya diantara -12°C dan -15°C, dan ditentukan oleh pengoperasian unit *dewaxing*. Untuk tujuan tertentu, *pour point* dapat sangat rendah. Untuk *base stock* yang memiliki viskositas yang sangat rendah seperti *bright stock*, *pour point* merefleksikan batas viskositas. Pengukuran *pour point* secara tradisional menggunakan ASTM D97, namun terdapat tiga metode baru, yakni metode “tilt” (ASTM D5950), *pulse method* (ASTM D5949), dan metode rotasi (ASTM D5985). (Speight, 2014)

*Viscosity*, *base stock* biasanya dijual berdasarkan viskositasnya kinematikanya pada 40 °C dan 100 °C. Tingkatan viskositas didefinisikan oleh viskositas kinematic dalam *centistokes* (cS) saat 40 °C. viskositas *base stock* yang lebih tinggi dihasilkan oleh bahan baku yang lebih berat. (contoh: 100 cS saat 40 °C minyak pelumas diproduksi dari *heavy vacuum gas oil* dan tidak dapat dihasilkan dari *light vacuum gas oil* karena *molecular precursor* tidak tersedia). Semakin meningkatnya viskositas, diikuti juga dengan meningkatnya *distillation midpoint*. (Speight, 2014)

*Viscosity Index*, berbeda jenis minyak pelumas memiliki perbedaan pula dalam laju perubahan viskositas terhadap suhu. Contohnya, distilat minyak pelumas dari *naphthenic base crude* akan menunjukkan laju perubahan viskositas terhadap temperature yang lebih tinggi dari pada distilat yang berasal dari *paraffin crude*. Indeks viskositas adalah suatu metode untuk mengukur suatu nilai numerik terhadap laju perubahan, berdasarkan perbandingan dengan *relative rates of change of two arbitrarily selected types* dari minyak pelumas. Indeks viskositas yang tinggi menunjukkan laju perubahan viskositas terhadap temperature yang rendah, begitu pula sebaliknya. (Speight, 2014)

Indeks viskositas adalah ukuran sejauh mana perubahan viskositas dengan suhu; semakin tinggi indeks viskositas, semakin sedikit perubahan, dan umumnya indeks viskositas lebih tinggi lebih disukai. Indeks viskositas minimal untuk *paraffinic base*

*stock* adalah 80, namun dalam kenyataanya adalah 95 karena disesuaikan keinginan pasar. Untuk mendapatkan indeks viskositas lebih besar dari 140, bahan baku umumnya harus berupa *petroleum wax or Fischer–Tropsch wax*. (Speight, 2014)

*Volatility*, telah muncul sebagai faktor yang signifikan dalam produk pelumas otomotif dari sudut pandang lingkungan dan operasional dan berkaitan terutama dengan distilasi *front end*. Volatilitas rendah (kehilangan minimal ketika suhu tinggi) mengurangi emisi, bermanfaat untuk katalis pengontrol emisi, mengurangi konsumsi minyak pelumas, dan membantu mencegah perubahan viskositas minyak pelumas dalam mesin. Viskositas dipengaruhi oleh tingkatan viskositas, tetapi untuk viskositas yang konstan dipertahankan oleh fraksinasi dan sebagian oleh indeks viskositas. Indeks viskositas diidentifikasi menggunakan metode Noack (ASTM D5800), menggunakan metode *thermogravimetric analyzer* (TGA) biasanya disebut ASTM D6375, atau dengan gas kromatografi (ASTM D6417) untuk minyak pelumas mesin. (Speight, 2014)

**Tabel II.1** Kategori Minyak Pelumas Dasar oleh *American Petroleum Industry*

	<b>Kategori Minyak Pelumas Dasar</b>	<b>Sulfur (%)</b>		<b>Kejenuhan (%)</b>	<b>Indeks Viskositas</b>
Mineral	Grup I ( <i>Solvent Refined</i> )	>0,03	and/or	<90	80-120
	Grup II ( <i>hydrotreated</i> )	<0,03	and	>90	80-120
	Grup III ( <i>hydrocracked</i> )	<0,03	and	>90	>120
Sintetik	Grup IV	Minyak Pelumas Sintetik PAO			
	Grup V	Semua jenis minyak pelumas dasar selain grup I, II, III, dan IV			

(Speight, 2014)

## II.2 Minyak Pelumas Bekas (*Used Lube Oil*)

Minyak pelumas bekas biasanya terdiri dari campuran berbagai jenis minyak pelumas yang telah digunakan dalam kendaraan bermotor dan industri. (Studi Tecnologie Progetti Srl, 2000).

Dalam hal produk yang berasal dari kerusakan minyak, banyak produk yang terbentuk selama minyak mengalami kerusakan. Beberapa produk yang penting adalah *sludge* yakni campuran minyak, air, partikel debu, kotoran, dan karbon yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar. Lumpur dapat disimpan di berbagai bagian mesin atau tetap di koloid dispersi dalam minyak. *Lacquer*, zat keras atau bergetah yang akan terendapkan pada bagian-bagian mesin sebagai akibat dari adanya lumpur pada oli sehingga suhu operasi terlalu suhu tinggi. *Oil soluble products*, hasil produk oksidasi minyak yang tetap dalam minyak dan tidak dapat disaring sehingga terendapkan pada bagian-bagian mesin. (Speight, 2014)

Minyak pelumas kehilangan efektivitasnya selama operasi karena adanya jenis kontaminan tertentu. Kontaminan ini dibagi menjadi dua, pertama adalah kontaminan asing dan kedua adalah produk dari kerusakan minyak pelumas. Kontaminan asing berasal dari udara dan partikel logam dari mesin. Kontaminan dari udara adalah pasir, kotoran, dan kelembapan udara. Udara sendiri dapat dianggap sebagai kontaminan karena dapat menyebabkan oli atau minyak pelumas menjadi berbusa (*foaming*). Kontaminan yang berasal dari mesin adalah partikel logam akibat penggunaan mesin, partikel karbon yang berasal dari pembakaran tidak sempurna, oksida logam yang berasal dari korosi pada logam, air dari kebocoran sistem pendingin, air dari produk pembakaran, bahan bakar atau bahan aditif atau *by product* yang mungkin masuk kedalam *crankcase* mesin.

(Speight, 2014)

Minyak pelumas bekas memiliki nilai hydrocarbon pada C<sub>21</sub>-C<sub>40</sub>. Gas-gas volatil yang terkandung dalam minyak pelumas bekas adalah H<sub>2</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub>



**Gambar II.1** Struktur Kimia Minyak Pelumas Bekas

(Lam, 2015)

Pada minyak pelumas bekas terdapat logam-logam yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Logam-logam tersebut dapat berasal dari :

- Aditif minyak pelumas  
Agar minyak pelumas dapat memberikan pelayanan yang memuaskan maka perlu ditambahkan zat aditif. Aditif atau zat kimia yang ditambahkan itu dapat mengandung unsur logam. Beberapa logam yang terkandung adalah Ca dan Zn, aditif dapat pula mengandung logam Al, Ba, Mg, Mn, P, K, atau Na.
- Bahan Bakar  
Bahan bakar yang digunakan dapat mengandung Pb, apabila ditambahkan TEL untuk menaikkan angka oktannya, hasil pembakarannya dapat masuk ke ruang karter dan bercampur dengan minyak pelumas.
- Debu dan kotoran dari udara  
Bahan bakar dapat dibakar bila ada udara. Udara yang masuk ke ruang bakar sudah disaring dengan filter, tetapi kemungkinan kotoran masih dapat masuk ke ruang bakar bersama udara. Biasanya didalam debu mengandung Al dan Si.
- Zat Pendingin "*Coolant*"  
Zat pendingin yang dicampurkan dalam air pendingin mengandung aditif anti korosi yang umumnya



mengandung logam B, P, Na, K, Cr. Apabila gasket mesin rusak, air pendingin dapat masuk ke ruang bakar lalu ke karter dan bercampur dengan minyak pelumas.

- Air Pendingin

Penggunaan air pendingin untuk mendinginkan mesin dengan cara disirkulasikan ke dalam dinding silinder atau blok mesin. Apabila gasket dari saluran air pendingin bocor maka air pendingin akan masuk ke dalam ruang bakar dan dapat pula masuk ke karter bercampur dengan minyak pelumas yang dapat berakibat minyak pelumas terkontaminasi. Air mengandung unsur logam Ca, Ba, dan Fe.

- Keausan

Keausan adalah hilangnya zat padat dari induknya akibat adanya permukaan yang bergesekan, Keausan ini umumnya menyebabkan kerusakan, tetapi dapat menguntungkan juga selama – *running in*. Keausan permukaan yang bergesekan ini umumnya disebabkan oleh mekanisme masing-masing proses keausan atau mekanisme simultan dari beberapa proses keausan. Jenis keausan tersebut adalah keausan *adhesive*, *abrasive*, *corrosive*, *fatigue*, *fretting corrosion*, dan *cavitation corrosion*. (Subiyanto, 1989).

Aditif minyak pelumas adalah senyawa kimia yang ditambahkan ke dalam minyak pelumas dengan maksud untuk mendapatkan mutu minyak pelumas yang baik dalam pemakaiannya, meningkatkan daya kerja mesin, memperpanjang efisiensi kerja mesin, serta memperpanjang masa pemeliharaan. Aditif tersebut mempunyai persyaratan sebagai berikut: dapat larut dalam minyak pelumas, stabil untuk waktu yang lama, tidak mempunyai bau yang menyengat, serta tidak merusak mesin. Secara garis besar aditif dapat digolongkan atas dua bagian yaitu :

1. Aditif yang bekerja untuk meningkatkan karakteristik sifat fisika seperti: menurunkan titik tuang, meningkatkan indeks viskositas, antibusa dan lain sebagainya.
2. Aditif yang bekerja untuk mempengaruhi dan meningkatkan karakteristik sifat kimia seperti: antioksidan, antikorosi, dispersan/deterjen, dan lain sebagainya (Siswanti,2010).

**Tabel II.2** Kandungan Senyawa Aditif dalam Minyak Pelumas Bekas

<b>Jenis Aditif</b>	<b>Senyawa</b>
<i>Anticorrosion</i>	<i>Zinc dithiophosphates, metal phenolates, fatty acids, dan amines</i>
<i>Antifoamant</i>	<i>Silicone polymers dan organic copolymers</i>
<i>Antiodorant</i>	<i>Perfumes dan essential oils</i>
<i>Antioxidant</i>	<i>Zinc dithiophosphates, hindered phenols, aromatic amines, dan sulfurized phenols</i>
<i>Antiwear additive</i>	<i>Chlorinated waxes, alkyl phosphites dan phosphates, lead naphthenate, metal triborates, dan metal dan ashless dithiophosphates</i>
<i>Color stabilizer</i>	<i>Aromatic amine compounds</i>
<i>Corrosion inhibitor</i>	<i>Metal dithiophosphates, metal dithiocarbamates, metal sulfonates, thiodiazoles, dan sulfurized terpenes</i>
<i>Detergent</i>	<i>Alkyl sulfonates, phosphonates, alkyl phenates, alkyl phenolates, alkyl carboxylates, dan alkyl-substituted salicylates</i>
<i>Dispersant</i>	<i>Alkylsuccinimides dan alkylsuccinic esters</i>
<i>Emulsifier</i>	<i>Fatty acids, fatty amides, dan fatty alcohols</i>
<i>Extreme pressure additives</i>	<i>Alkyl sulfides, polysulfides, sulfurized fatty oils, alkyl phosphites dan phosphates, metal dan ashless dithiophosphates dan carboxylates, metal dithiocarbamates, dan metal triborates</i>

<i>Friction modifier</i>	<i>Organic fatty acids, lard oil, dan phosphorus-based compounds</i>
<i>Metal deactivator</i>	<i>Metal deactivator organic complexes containing nitrogen dan sulfur amines, sulfides, dan phosphates</i>
<i>Pour point depressant</i>	<i>Alkylated naphthalene and phenolic polymers, dan polymethacrylates</i>
<i>Rust inhibitor</i>	<i>Metal alkylsulfonates, alkylamines, alkyl amine phosphates, alkenylsuccinic acids, fatty acids, alkylphenol ethoxylates, dan acid phosphate esters</i>
<i>Seal swell agent organic</i>	<i>Organic phosphate aromatic hydrocarbons</i>
<i>Tackiness agent</i>	<i>Polyacrylates dan polybutenes</i>
<i>Viscosity</i>	<i>Polymers of olefins, methacrylates, dienes, or alkylated styrenes</i>

(Speight, 2014)

**Tabel II.3** Sifat Fisis Minyak Pelumas Bekas

<b>Sifat Fisis</b>	<b>Jumlah</b>
SG	0,8891
Viskositas Kinematis 40°C	117,6
Viskositas Kinematis 100°C	12,5
Indeks viskositas	102,9
Flash Point (°C)	202
Pour Point (°C)	215
Kadar Logam (ppm)	1991,36

(Siswanti, 2010)

### **II.3 Distilasi**

Distilasi adalah salah satu metode pemisahan komponen dari sebuah larutan yang tergantung pada distribusi zat antara fase gas dan cair berdasarkan titik didih, diterapkan pada kasus di mana semua komponen muncul pada kedua fase. Metode ini tidak

menambahkan zat baru ke dalam campuran untuk membentuk fase kedua, seperti yang terjadi pada absorpsi atau desorpsi gas, fase baru diambil dari larutan asli dengan cara penguapan atau kondensasi. (Treybal, 1980)

Distilasi merupakan campuran yang dididihkan dimana komponen yang memiliki titik didih yang lebih rendah akan mempunyai uap yang lebih banyak. Sehingga saat uap tersebut terkondensasi, kondensat akan mengandung lebih banyak komponen yang volatil. Pada saat yang sama, campuran yang asli akan mengandung material yang tidak volatil. Kolom distilasi didesain untuk membuat proses pemisahan ini efisien. (Tham, 2006)

Dalam proses pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas mentah, terdapat dua kondisi operasi pada kolom, yaitu kondisi pada tekanan atmosferik dan pada tekanan vakum. Kolom distilasi pada tekanan vakum dipisahkan kandungan fraksi berat minyak pelumas bekas pada minyak pelumas bekas agar suhu operasi tidak terlalu tinggi sehingga minyak pelumas bekas tidak terdegradasi. (Speight, 2014)

## **II.4 Desain Kolom Distilasi**

Keberadaan kolom destilasi pada pabrik merupakan salah satu alat vital yang berfungsi untuk tahap pemisahan dan menjadi bagian yang selalu ada pada proses pabrik. Pemisahan campuran liquid dengan destilasi bergantung pada perbedaan volatilitas antara komponen. Komponen yang memiliki *relative volatility* yang lebih besar akan lebih mudah pemisahannya. Uap akan mengalir menuju puncak kolom sedangkan liquid menuju ke bawah kolom secara *counter-current* (berlawanan arah). Uap dan liquid akan terpisah pada *plate* atau *packing*. Sebagaimana kondensat dari condensor dikembalikan ke puncak kolom sebagai liquid untuk dipisahkan lagi, dan sebagaimana liquid dari dasar kolom diuapkan pada reboiler dan dikembalikan sebagai uap. Destilasi didefinisikan sebagai sebuah proses dimana campuran dua atau lebih zat liquid atau vapor dipisahkan menjadi komponen fraksi

yang murni, dengan pengaplikasian dari perpindahan massa dan panas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi operasi kolom disilasi, antara lain:

1. Kondisi *feed* (q)

Keadaan campuran dan komposisi *feed* (q) mempengaruhi garis operasi dan jumlah stage dalam pemisahan serta mempengaruhi lokasi *feed tray*.

2. Kondisi Refluks

Pemisahan semakin baik jika sedikit *tray* yang digunakan untuk mendapatkan tingkat pemisahan. *Tray* minimum dibutuhkan dibawah kondisi total refluks, yakni tidak ada penarikan distilat. Sebaliknya refluks berkurang, garis operasi untuk seksi rektifikasi bergerak terhadap garis kesetimbangan.

3. Kondisi Aliran Uap

Kondisi aliran uap yang merugikan dapat menyebabkan:

a. *Foaming*

Mengacu pada ekspansi *liquid* melewati uap atau gas. Walaupun menghasilkan kontak antar fase *liquid*-uap yang tinggi, *foaming* berlebihan sering mengarah pada terbentuknya *liquid* pada *tray*.

b. *Entrainment*

Mengacu pada *liquid* yang terbawa uap menuju *tray* diatasnya dan disebabkan laju alir uap yang tinggi menyebabkan efisiensi *tray* berkurang.

Bahan yang sukar menguap terbawa menuju plate yang menahan *liquid* dengan bahan yang mudah menguap. Dapat mengganggu kemurnian distilat. *Entrainment* berlebihan dapat menyebabkan *flooding*.

c. *Weeping/ Dumping*

Fenomena ini disebabkan aliran uap yang rendah. Tekanan yang dihasilkan uap tidak cukup untuk menahan *liquid* pada *tray*. Karena itu *liquid* mulai merembes melalui perforasi.

d. *Flooding*

Terjadi karena aliran uap berlebih menyebabkan *liquid* terjebak pada uap diatas kolom. Peningkatan tekanan dari uap berlebih menyebabkan kenaikan *liquid* yang tertahan pada plate diatasnya. *Flooding* ditandai dengan adanya penurunan tekanan diferensial dalam kolom dan penurunan yang signifikan pada efisiensi pemisahan. (Komariah, 2009)

## II.5 Macam-Macam Evaporator

Evaporasi adalah suatu operasi yang digunakan untuk memekatkan larutan dari terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap, biasanya adalah air. Sebagian dari pelarut menguap untuk menghasilkan larutan pekat, *slurry*, dan larutan viskos.

Evaporasi berbeda dengan pengeringan yang mana residu lebih mudah mengalir dari pada padatannya. Evaporasi berbeda dengan distilasi yang mana tidak terdapat pemisahan uap menjadi komponen tunggal.

Terdapat beberapa macam dan variasi dari evaporator, dan pemilihan evaporator tersebut berdasarkan karakteristik produk dan hasil yang diinginkan. Lebih jelas dapat dilihat pada table II.4.

**Tabel II.4 Pemilihan Evaporator Berdasarkan Karakteristik Produk**

S

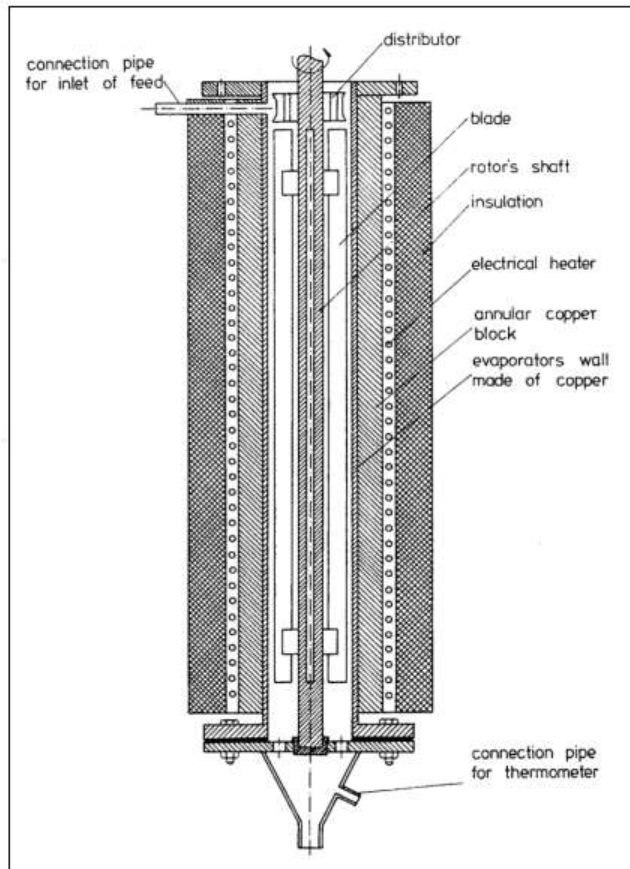
Tipe	Bersih	Cap	Padat atau Kristal	Kerak	Berbusa	<i>Thermal Sensitive</i>	Viskos
<i>Batch</i>	✓						✓
<i>Horizontal Tube</i>	✓						

<i>Vertical Short Tube</i>	✓						
<i>Vertical Long Tube</i>	✓	✓					
<i>Rising Falling Film</i>	✓	✓			✓		
<i>Falling Film</i>	✓	✓	✓		✓	✓	
<i>Forced Circulation</i>	✓	✓	✓	✓	✓		
<i>Plate</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Agitated Thin Film</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(Glover, 2004)

## II.6 *Thin-Film Evaporator*

Thin-film evaporator diaplikasikan dalam *heat exchanger* yang disebut *thin film or thin layer evaporator*. Walaupun *thin layer evaporator* dipertimbangkan sebagai *mass and heat exchanger*, karena molekul dari fasa liquida ditransfer ke fasa gas selama penguapan dan perpindahan molekul dari fasa gas ke molekul dari fasa liquida mungkin terjadi selama proses kondensasi. Alat ini diaplikasikan dalam dunia kimia, farmasi, dan makanan sejak tahun 1950. Ilustrasi *Vertikal thin-film evaporator* seperti gambar II.1. (Dziak, 2011)



**Gambar II.2** *Vertical Thin-Film Evaporator*

Sistem wiper berputar mendistribusikan produk mentah ke sebuah film pada permukaan bagian dalam dari pipa yang dipanaskan. Kecepatan sistem menyeka proses penguapan dengan menjaga turbulent film produk sehingga perpindahan panas dan perpindahan massa dapat dioptimalkan. Fraksi didih yang lebih rendah dari bahan baku menguap dalam waktu singkat dari film produk; waktu tinggal produk di dinding evaporator sangat singkat. Uap dikondensasikan pada kondensor eksternal. Konsentrat terus



dibuang keluar dari bagian bawah evaporator. Sebagai kondensor yang terletak di luar evaporator dan terhubung ke evaporator melalui pipa, kecepatan uap pada tingkat penguapan yang tinggi dan tekanan rendah akan menjadi sangat tinggi. Karena penurunan tekanan yang diciptakan oleh uap dalam perjalanan mereka ke kondensor eksternal, vakum dicapai dalam film evaporator sekitar 1 mbar.

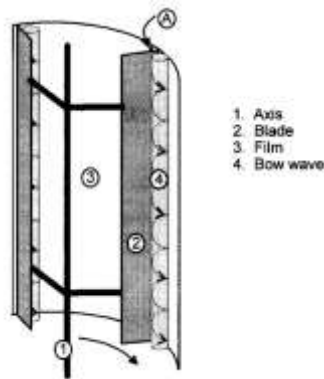
Kelebihan dari alat ini adalah proses distilasi yang terus menerus, tekanan operasi yang rendah, waktu tinggal singkat, kecepatan penguapan yang cepat, proses pada titik didih tinggi, viskositas tinggi atau memungkinkan produk menjadi kristal, kombinasi dengan kolom untuk meningkatkan jumlah pelat teoritis sangat memungkinkan, dan dinding evaporator tahan akan kerak. ([Vta Process](#))

Kelebihan lain dari alat ini adalah massa mengalir dengan cepat dan terjadi fenomena pertukaran panas, memungkinkan untuk menurunkan tekanan atau vakum. Alat ini dapat digunakan untuk zat yang sensitif terhadap panas (asam lemak, minyak esensial), ekstrak makanan atau produk farmasi (jus gula tebu, *sweetened beet*, gelatin, vitamin buatan atau alami), penghilangan pelarut mulai dari ekstrak tumbuhan dan penggunaan kembali pelarut (cat, lemak, minyak, dan resin), konsentrasi dari ketang tumbuk, jus buah, and *vegetables*, konsentrasi dari susu dan turunanya, pemurnian dari produk polimer. Permukaan tipis ini juga digunakan untuk reaksi kimia dan desalinasi air. Faktor kunci dari transfer panas dan masa dan untuk waktu tinggal liquid dalam alat ini adalah ketebalan permukaan. Film permukaan ini bergantung pada beberapa faktor seperti geometri dinding, pengadukan, dan karakteristik liquid. (Zebaoudj, 2006)

Terdapat dua tipe utama dalam thin-film evaporator, yakni *static type thin-film evaporator* dan *mechanically agitated thin-film evaporator*. Semua tipe tersebut dilengkapi dengan pemanas didinding silindernya. Pemanas tersebut terletak dibagian luar dan dibagian dalam aliran liquida jatuh kebawah searah gravitasi dipermukaan silinder yang panas. Selama proses tersebut,

vaporasi pun terjadi. Jika aliran liquids mengalir bebas karena dipengaruhi gaya gravitasi, tanpa adanya hambatan. Hal ini berarti tidak ada gaya mekanik yang bekerja pada aliran liquids yang mengalir didalam apparatus, maka apparatus tersebut disebut dengan *thin-film evaporator* tipe statis. Jika evaporator dilengkapi dengan blade yang mencampur liquid yang mengalir dalam apparatus, sehingga apparatus disebut dengan *mechanically agitated thin-layer evaporator* atau *mechanical thin-layer evaporator*. (Dziak, 2011)

Efisiensi operasi dipengaruhi oleh bilah penyeka yang mana campuran permukaan pada kondisi gas-permukaan vakum. Sebagai bilah yang melalui permukaan, cairan pada dinding tercampur dengan itu yang terbawa oleh ujung bilah. Konsentrasi volatil di permukaan berada pada tepi ujung bilah (contoh konsentrasi di permukaan adalah permulaan tahap devolatilisasi) adalah fungsi dari konsentrasi pada permukaan diakhir tahap devolatilisasi sebelumnya, konsentrasi cairan yang masuk ke dalam evaporator melalui bagian atas, dan derajat campuran antara permukaan dan gelombang cairan.



**Gambar II.3** Skema dari *Thin Film Evaporator*

(McKenna, 1994)

Dasar teori mengenai penentuan efisiensi pemisahan dari *thin film evaporator* disampaikan oleh Billet R. (1957). Billet

mengatakan bahwa pembentukan uap selama penguapan campuran liquid dihilangkan dari evaporator tanpa adanya kontak dengan fasa cair yang mengalir ke tabung. Teori Billet berdasarkan terhadap neraca massa dari senyawa volatil yang nilainya tidak sama pada bagian kecil  $dh$  dalam evaporator, yang dibentuk oleh pipa, pemanasan dari bagian luar, bagian dalam terjadi proses penguapan. Asumsi bahwa pada elemen ini cairan dan uap yang dihasilkan berada dalam keadaan setimbang ( $y = y^*$ ). (lihat gambar 4). maka dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut:

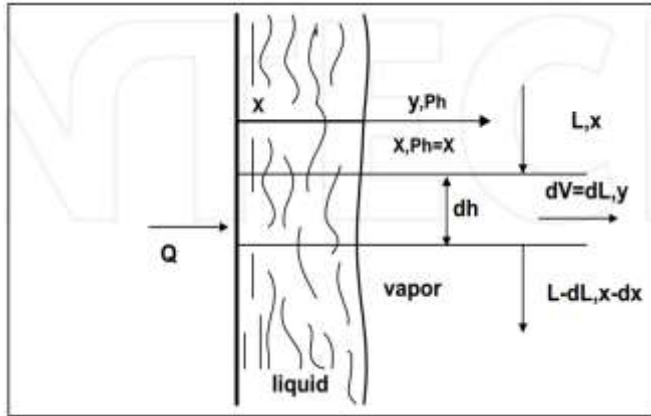
$$L \cdot x = (L - dV) \cdot (x - dx) + y^* dV \dots \dots \dots (II. 1)$$

Dimana  $L$  adalah aliran molar cairan di inlet ke elemen panjang  $dh$ ,  $x$  adalah konsentrasi senyawa yang lebih volatil dalam liquida yang tepat di inlet elemen  $dh$ ,  $(L - dV)$  aliran molar liquida dibagian outlet dari element  $dh$ ,  $(x - dx)$  konsentrasi senyawa yang lebih volatile pada liquida di outlet dari elemen  $dh$ ,  $dV$  - aliran molar dari uap yang terproduksi pada element panjang  $dh$  dari evaporator,  $y^*$  - konsentrasi uap, yang mana berada pada kondisi setimbang dengan konsentrasi liquida dari komponen yang lebih volatile.

Persamaan II.1 dapat diintegral:

$$\ln \frac{L_F}{L_R} = \int_{x_R}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x} \dots \dots \dots (II. 2)$$

Integral II.2 dapat diselesaikan dengan numerik, Persamaan ini memungkinkan perhitungan laju aliran residu dari evaporator  $L_R$ , mengetahui nilai-nilai dari aliran flow feed  $L_F$ , konsentrasi  $x_F$  serta konsentrasi  $x_R$  residu. Hal ini juga diperlukan untuk memiliki data kesetimbangan uap-cair [ $y^* = f(x)$ ].



**Gambar II.4** Skema dari Penguapan Lapisan Tipis Dua Komponen Cairan

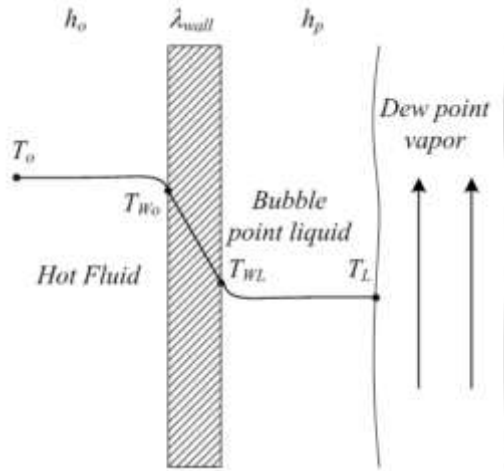
(Dziak, 2011)

Komposisi distilat rata-rata dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan neraca massa

$$D = L_F - L_R \dots \dots \dots (II.3)$$

$$X_D = \frac{L_F \cdot X_F - L_R \cdot X_R}{D} \dots \dots \dots (II.4)$$

Mannheim dan Passy (Mannheim CH and Passy N., 1974) menyatakan bahwa selama proses penguapan campuran cair, dalam posisi vertical thin film evaporator, Rektifikasi bisa muncul sebagai akibat dari aliran counter current dari fase cair dan uap dalam evaporator. Titik pandang yang sama disajikan Billet (Billet, 1983). Dia juga mengatakan bahwa distilasi dari campuran liquida di thin film evaporator dapat menyebabkan pemisahan secara signifikan lebih baik dari pada yang diperoleh dalam distilasi batch sederhana. Efek ini disebabkan oleh kontak langsung dari fase cair dan gas di evaporator. (Dziak, 2011)



**Gambar II.5** Hambatan perpindahan panas pada *thin film evaporator*

(Toledo, 2006)

Jumlah panas yang diransfer melalui media pemanas menuju dinding harus sama dengan jumlah panas yang ditransfer dari dinding menuju cairan likuida. Persamaan II.11 adalah permodelan dari gambar II.5 untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas.

Perhitungan yang digunakan untuk mengetahui hasil massa produk yang dihasilkan dari proses pemisahan menggunakan *thin film evaporator* bergantung pada kecepatan putaran rotor yang juga akan mempengaruhi berapa koefisien perpindahan panas yang dihasilkan untuk tiap kecepatan putaran rotor yang berbeda. Perbedaan koefisien perpindahan panas juga akan mempengaruhi berapa hasil massa produk yang terpisahkan. Perhitungan untuk mencari koefisien perpindahan panas adalah sebagai berikut:

$$Nu = 0.65 * Re_F^{0.25} * Re_N^{0.43} * Pr^{0.3} Nb^{0.33} \dots \dots \dots (II. 5)$$

Dimana

$$D_e = \frac{D_s^2 - D_r^2}{D_s} \dots \dots \dots (II. 6)$$

$$Re_F = \frac{4.F}{\pi.D.\mu} \dots \dots \dots (II. 7)$$

$$Re_N = \frac{N.D^2.\rho}{\mu} \dots \dots \dots (II. 8)$$

$$Pr = \frac{Cp.\mu}{k} \dots \dots \dots (II. 9)$$

$$Nu = \frac{h_p.D}{k} \dots \dots \dots (II. 10) \quad (II.9)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{1}{h_p} + \frac{\sigma_w}{k_w} \dots \dots \dots (II. 11)$$

Dari persamaan II.5 hingga II.10 maka akan didapatkan nilai dari koefisien perpindahan panas untuk setiap perubahan kecepatan rotor. Setelah didapatkan nilai dari koefisien perpindahan panas, untuk mendapatkan hasil massa uap produk dari proses pemisahan menggunakan *thin film evaporator* ini dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{F_f C_p (T_p - T_f) - V \lambda}{A \Delta T_{lm}} \dots \dots \dots (II. 12)$$

Dari persamaan II.14 bisa didapatkan berapa massa produk yang terbentuk untuk setiap perubahan koefisien perpindahan panas. (Chawankul, 2000) dimana  $\Delta T_{lm}$  adalah rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran panas dari steam dan aliran keluaran produk minyak pelumas bekas.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{bot}) - (T_{h,o} - T_{top})}{\ln \left( \frac{T_{h,i} - T_{bot}}{T_{h,o} - T_{top}} \right)} \dots \dots \dots (II. 13)$$

## II.7 Pemilihan Aplikasi Termodinamika untuk Pemodelan Proses

Dalam penelitian, begitu juga dengan simulasi untuk mendekati kondisi simulasi dengan kondisi lapangan sangat diperlukan pemilihan model termodinamika yang paling akurat.

Sebagai acuan pemilihan model termodinamika ditampilkan pada tabel II.6.

**Tabel II.6 Model Thermodinamika**

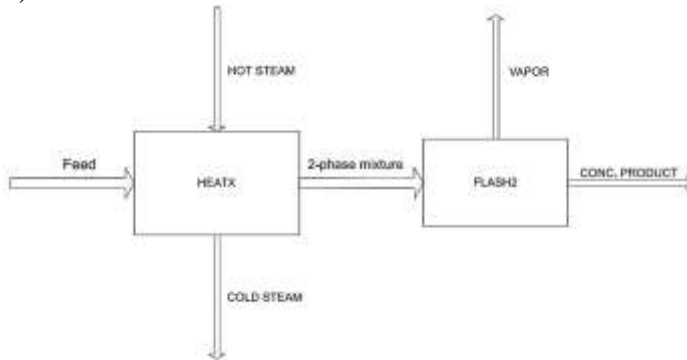
Chemical Systems	Primary Choice Models of Today	Secondary Choice Models	Problem Areas
Air Separation	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong	Corresponding States	
Gas Processing	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong	BWRS	
Gas Treating	Kent-Eisenberg, Electrolyte NRTL		Data, Parameters, Models for mixed amines
Petroleum Refining	BK10, Chao-Seader, Grayson-Streed, Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong, Lee-Kessler-Plöcker		Heavy crude characterization
Petrochemicals—VLE	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong, PSRK	NRTL, UNIQUAC, UNIFAC	Data, Parameters
Petrochemicals—LLE	NRTL, UNIQUAC		Data, Parameters, Models for VLE systems
Chemicals	NRTL, UNIQUAC, PSRK	UNIFAC	Data, Parameters
Electrolytes	Electrolyte NRTL, Zemaitis	Pitzer	Data, Parameters, Databanks, Models for polyelectrolytes
Oligomers	Polymer NRTL	UNIQUAC, UNIFAC	Pure component fugacity, Databanks
Polymers	Polymer NRTL, PC-SAFT	Sanchez-Lacombe, SAFT, UNIFAC-FV	Data, Parameters, Databanks, Flash algorithms, Models for polar polymers, block copolymers
Steam	NBS/NRC		
Environmental	UNIFAC+Henry's Law		Data
Pharma/Biological	None		Data, Databanks, Models

Dalam tabel II.6 pemilihan model termodinamika dipengaruhi oleh sistem kimia. Untuk mendapatkan model yang paling akurat pemilihan juga dipengaruhi oleh kondisi operasi (tekanan dan temperatur) terutama untuk proses dalam fase gas.(Chen dan Mathias, 2002)

## II.8 Penelitian Terkait

Penelitian Chawankul *et al* (2011) yang berjudul “Simulation of an Agitated Thin Film Evaporator for

*Concentrating Orange Juice Using AspenPlus™*. Penelitian ini menggunakan Aspen Plus™ untuk mendesain thin film evaporator. Thin film evaporator dikembangkan menggunakan model penukar panas *rigorous*, *heatx* diikuti oleh sebuah model *rigorous 2-phase flash*. *Flash2* seperti gambar II.4. Bahan baku masuk kedalam blok *heatx* merupakan minyak pelumas bekas. Steam masuk ke *heatx* dan meninggalkannya menjadi kondensat. Produk dari *heatx* adalah campuran 2 fasa antara uap air dan minyak pelumas bekas. Aliran ini tidak seperti proses nyata. Model *flash2* ini digunakan untuk memisahkan minyak pelumas bekas dan uap air serta zat volatil lainnya. Produk dari *flash2* menggambarkan 2 produk dalam proses sebenarnya. Tekanan pada *flash2* dapat diasumsikan sama dengan tekanan pada *heatx* dan keadaan dapat diasumsikan berjalan secara adiabatik. Operasi adiabatik adalah asumsi yang beralasan karena bahan baku untuk *flash2* adalah campuran dari uap air dan minyak pelumas bekas, tujuan dari *flash2* adalah untuk memisahkan dua fasa. (Chawankul, 2001)



**Gambar II.6** Flowsheet Simulasi dengan Aspen Plus™ dari Proses Penguapan

Informasi yang dibutuhkan oleh Aspen Plus™ untuk mesimulasikan proses ini adalah:

- Aliran minyak pelumas bekas ke proses (**kecepatan aliran, komposisi, temperatur, tekanan, dan fraksi uap**)



- Aliran *steam* ke proses (**kecepatan aliran, komposisi, temperatur, tekanan, dan fraksi uap**)
- Desain dan kondisi operasi heatx (**area penukaran panas dan koefisien *overall heat transfer***)
- Kondisi operasi untuk flash2 (temperatur, **tekanan**, fraksi uap atau ***heat duty***)

Variabel yang di-bold adalah salah satu yang ditentukan dalam simulasi ini, variabel tersebut ditentukan melalui percobaan atau perhitungan koefisien *overall heat transfer*.(Chawankul, 2011)

Penelitian Rafie R. M., *et al* (2013) yang berjudul “*Waste lubricating oil treatment by extraction and adsorption*”. Penelitian ini membahas pemurnian minyak pelumas bekas menggunakan ekstraksi dan adsorpsi. Penelitian ini menggunakan 6 jenis pelarut (*n-hexane, 1-butanol, petroleum ether, 1-hexanol, carbon tetra chloride, dan acetone*) dievaluasi secara percobaan. Ratio antara pelarut dan minyak adalah 1:1 sampai 4:1 juga diperiksa. Penelitian ini telah mempelajari efek dari penggunaan KOH untuk meningkatkan flokulasi, ekstraksi menggunakan pelarut, adsorpsi, dan proses filtrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1-butanol mencapai kinerja terbaik dengan penghapusan *percent sludge removal*, diikuti oleh *n-hexane, petroleum ether, 1-hexanol, carbon tetrachloride, and acetone*. Persentase lumpur minyak ditemukan meningkat dengan peningkatan pelarut untuk rasio minyak hingga mencapai maksimum pada rasio 3:1. Penerapan proses adsorpsi menggunakan bahan adsorben yang berbedapun diinvestigasi. Bahan adsorben seperti *shell almond, walnut shell, kulit telur, dan tanah liat teraktivasi asam* yang disiapkan secara lokal digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *acid activated clay* memberikan hasil yang terbaik kemudian diikuti hasil dari *almond shell powder*. Viskositas meningkat dari 38 cst untuk minyak pelumas bekas menjadi 85 cst untuk asam/*clay treatment* dan *flash point* meningkat dari 178°C ke 238 °C, sementara densitas turun dari 912 ke 896 kg/m<sup>3</sup>. *Pour point* dari -6 °C ke -13,2 °C. (Rafie, 2013)

Penelitian Kurniasarai dan Lina yang berjudul “*Evaporating Process Simulation of Black Liquor in Falling Film Evaporator with Air Flow*”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa fenomena transfer massa dan panas dalam *falling film evaporator* dengan *black liquor-air system* dan menentukan model matematika dan solusi numerik untuk memprediksi performa *falling film evaporator*. Aparatus untuk skala laboratorium memiliki panjang kolom adalah 2m dan diameter kolom adalah 2,54m. Distribusi suhu dan konsentrasi dari produk dikembangkan dengan model matematika yakni menggunakan *Runge-Kutta* orde 4 dan software yang digunakan adalah Matlab. Penelitian menggunakan Matlab dapat memprediksi suhu liquid, distribusi suhu gas, dan distribusi konsentrasi. Program ini juga dapat memprediksi konsentrasi *black liquor* yang keluar dari evaporator. (Dewi, 2013)

Penelitian oleh Riszi dan Herman pada 2016 yang berjudul “Simulasi Distilasi Vakum dan *Thin-Film Evaporator* Untuk Memisahkan *Lube Oil* Dari Fraksi Berat Minyak Pelumas Bekas” adalah melakukan permodelan *thin-film evaporator* dengan menggunakan software Aspen HYSYS. *Thin-film Evaporator* dimodelkan dengan sistem *heat exchanger* dan *flash drum*. Dimana penelitian yang dilakukan tidak memperhitungkan pengaruh putaran rotor terhadap proses pemisahan *lube oil*. (Riszi, 2016)

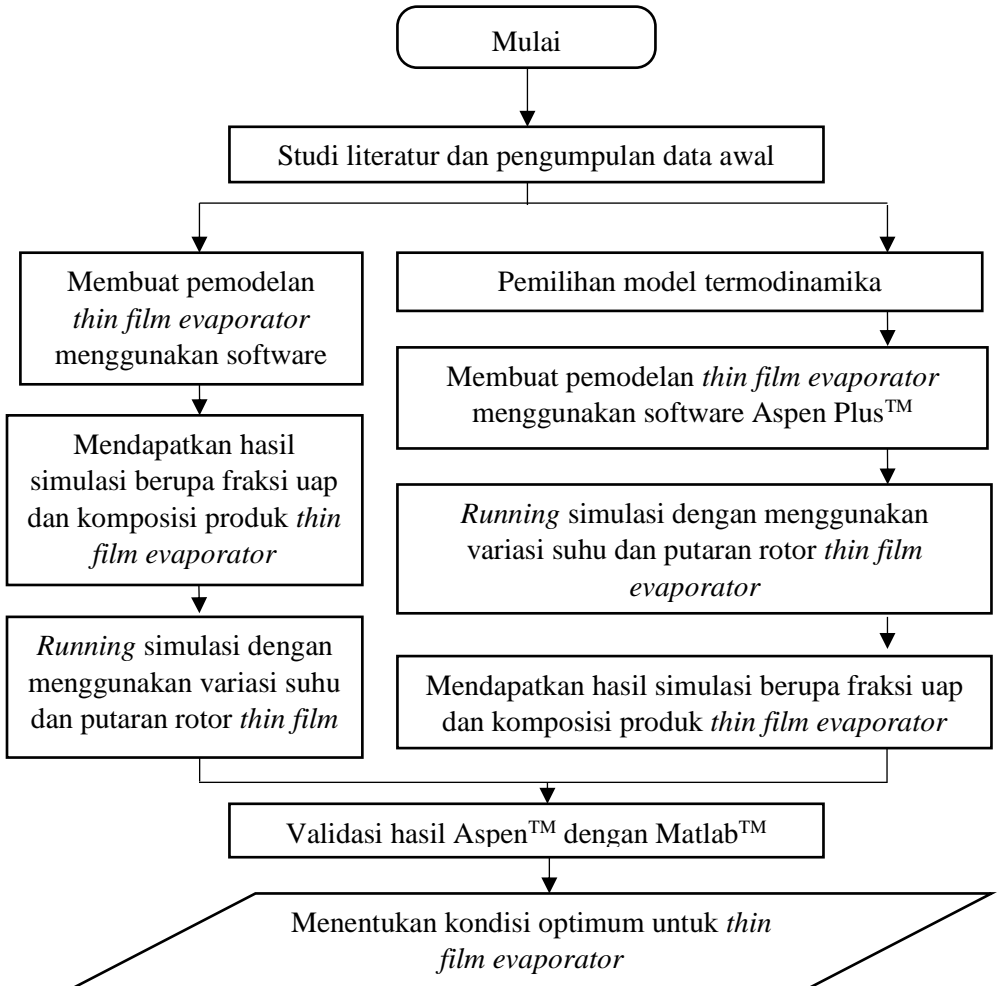
Penelitian oleh Nandyojati dan Andi pada 2017 yang berjudul “Perancangan Proses Pemisahan Fraksi Berat Dalam Minyak Pelumas Bekas Dengan *Vacuum Distillation* Dan *Thin Film Evaporator*” adalah melakukan perancangan unit kolom destilasi vakum dan *thin film evaporator* menggunakan software Aspen Plus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup> dengan memperhitungkan pengaruh putaran rotor terhadap nilai koefisien perpindahan panas pada *thin film evaporator*. Dimana penelitian yang dilakukan tidak memperhitungkan efek dari suhu operasi terhadap proses pemisahan pada *thin film evaporator*. (Nandyojati, 2017)



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1. *Flowchart* Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi terhadap peralatan *thin film evaporator* dengan tahapan sebagai berikut :



### **III.2. Studi Literatur**

Studi literatur digunakan untuk memperoleh pengetahuan mengenai proses distilasi menggunakan *thin film evaporator*, meliputi kondisi operasi yang pada umumnya digunakan, efek variasi beberapa variabel yang digunakan terhadap proses dan hal-hal yang perlu dimodelkan pada MATLAB serta Aspen Plus.

Pengumpulan data awal meliputi mencari informasi mengenai bahan dan peralatan yang akan digunakan untuk penelitian. Pengumpulan data meliputi data spesifikasi bahan baku serta spesifikasi peralatan yang digunakan.

### **III.3. Pemilihan Model Termodinamika**

Pemilihan model termodinamika harus didasarkan pada beberapa hal, antara lain kondisi operasi dan tipe senyawa yang akan digunakan dalam proses. Ada banyak model yang bisa digunakan, dalam kasus pengolahan hidrokarbon pada kondisi yang tidak terlalu tinggi seperti pengolahan minyak pelumas bekas ini, Peng-Robinson sesuai untuk digunakan pada perangkat lunak Aspen Plus sebagai basis model termodinamika.

### **III.4. Membuat Pemodelan *Thin Film Evaporator* Menggunakan Software Aspen Plus**

Dalam memodelkan *thin film evaporator* pada Aspen Plus, menurut jurnal yang berjudul “*Simulation of Agitated Thin Film Evaporator For Concentrating Orange Juice Using Aspen Plus*”<sup>TM</sup> oleh Chawankul dapat dimodelkan dengan kombinasi *Heat Exchanger* dan *Flash Drum* dengan menggunakan perhitungan *Flash Calculation*. Hal ini dikarenakan tidak adanya fitur *thin film evaporator* pada *bar pallete* yang ada pada Aspen Plus. Karena itu permodelan yang ada pada simulasi Aspen Plus harus divalidasi menggunakan perhitungan manual.

Karena nilai dari koefisien perpindahan panas (*hsc*) akan berubah seiring perubahan nilai dari putaran rotor pada *thin film evaporator*. Maka untuk mendapatkan nilai *hsc* perlu dilakukan perhitungan melibatkan berbagai macam variabel dengan

persamaan pada jurnal “*Mathematical Modeling of Agitated Thin-Film Dryer*” oleh Pawar dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$t_e = \frac{1}{n \cdot B} \dots \dots \dots \text{III. 1}$$

$$C_P = X_L C_{P,L} + (1 - X_L) C_{P,S} \dots \dots \dots \text{III. 2}$$

$$\rho = X_L \rho_L + (1 - X_L) \rho_S \dots \dots \dots \text{III. 3}$$

$$K = X_L K_L + (1 - X_L) K_S \dots \dots \dots \text{III. 4}$$

$$h_{sc} = 2 \sqrt{\frac{k \cdot \rho \cdot C_p}{\pi \cdot t_e}} \dots \dots \dots \text{III. 5}$$

Dengan ini bisa didapatkan nilai koefisien perpindahan panas serta dapat sekaligus memvariasi putaran rotor *thin film evaporator* (N). Nilai koefisien perpindahan panas yang didapatkan dari perhitungan manual kemudian akan dimasukkan ke simulasi pada *software* Aspen Plus<sup>TM</sup>.

Perhitungan manual ini juga digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi yang ada pada Aspen Plus<sup>TM</sup> sehingga akan didapatkan *error* antara perbandingan hasil dari simulasi dan perhitungan manual.

Dalam hal ini dibutuhkan data-data seperti *size* dari *thin film evaporator*. *Size* yang digunakan adalah *scale up* dari peralatan yang ada di laboratorium Trosobo.

### III.5 Running Simulasi dengan Perangkat Lunak

Setelah model sudah ditentukan, disimulasikan untuk *thin film evaporator* dengan menggunakan MATLAB dan Aspen Plus<sup>TM</sup> untuk mendapatkan pengaruh variasi suhu terhadap produk yang dihasilkan. Alur dari simulasi menggunakan Aspen Plus dimulai dengan mencari nilai konstanta perpindahan pada kondisi

operasi menggunakan Matlab. Setelah setelah itu memasukkan nilai tersebut kedalam Aspen Plus untuk mendapatkan fraksi dan komposisi produk atas. Alur dari simulasi menggunakan Matlab dimulai dengan mencari nilai konstanta perpindahan pada kondisi operasi menggunakan Matlab. Setelah itu memasukkan nilai tersebut kedalam Aspen Hysys untuk mencari nilai K masing-masing komponen dan selanjutnya mencari fraksi uap dan komposisi masing-masing senyawa menggunakan Matlab.

### III.6 Variabel yang Ditetapkan

Untuk menjalankan penelitian ini, perlu ada variabel yang ditetapkan. Variabel yang ditetapkan antara lain :

1. Tekanan Operasi *Thin Film Evaporator*

Tekanan operasi *thin film evaporator* yang digunakan adalah 2.53 kPa. Karena memang kondisi dari proses ini adalah kondisi vakum untuk menghindari digunakannya suhu tinggi yang dapat menyebabkan *cracking* pada hidrokarbon.

2. Suhu *Pre Heater*

*Pre heater* yang digunakan adalah jenis *electric heater* yang memanaskan feed sampai suhu 200°C. Dalam hal ini, *pre heater* digunakan untuk memanaskan feed sebelum masuk ke dalam *thin film evaporator*.

### III.7 Variabel yang Dimanipulasi

Variabel yang akan divariasikan pada penelitian ini antara lain :

1. Suhu Operasi *Thin Film Evaporator*

Suhu operasi *thin film evaporator* dapat diatur sehingga dapat dijadikan sebagai variabel manipulasi. Dipilih pada range 250 – 330 °C dengan interval 20°C. Dengan variasi ini dapat disimpulkan bagaimana pengaruh suhu operasi terhadap proses distilasi minyak pelumas bekas dan ditetapkan berapa kondisi operasi yang sesuai.

2. Putaran Rotor *Thin Film Evaporator*

Sebagai variabel lain, putaran rotor *thin film evaporator* juga dapat diatur sehingga dapat digunakan sebagai variabel operasi. Kecepatan putaran rotor dapat dipilih dari rentang 0 hingga 60 rpm.

### **III.8 Analisa Hasil Proses**

Analisa hasil yang dilakukan antara lain adalah jumlah fraksi uap serta komposisi *light end*, *lube oil*, *residu* pada produk uap yang dihasilkan pada proses *thin film evaporator*.

Proses penelitian yang terdiri dari simulasi yang divalidasi dengan perhitungan manual untuk memperkirakan error yang dihasilkan. Beberapa variabel yang dimanipulasi kemudian dibandingkan untuk mendapatkan kondisi operasi yang optimum, yaitu pada suhu (°C) dan putaran rotor (rpm) yang menghasilkan produk dengan komposisi yang paling baik.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Simulasi Proses

Dalam melakukan penelitian *thin film evaporator* dibuat model simulasi *steady state* menggunakan *software* Aspen Plus. Model yang dibuat terdiri *heat exchanger* dan *flash drum*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi operasi terbaik pada proses pemisahan fraksi berat dari minyak pelumas bekas tersebut. Kemudian dari hasil simulasi yang didapat akan divalidasi dengan perhitungan *thin film evaporator* secara manual.

Simulasi ini menggunakan model termodinamika *Peng Robinson* karena umpan yang digunakan dalam sistem pada penelitian ini merupakan minyak pelumas bekas yang terdiri dari campuran hidrokarbon yang memiliki komponen yang cukup beragam dan biasanya dibedakan berdasarkan titik didih komponennya.

Kemudian menentukan komposisi aliran masuk proses. Komposisi aliran masuk pada penelitian ini menggunakan spesifikasi minyak pelumas bekas *Studi Tecnologie Progetti Srl* (STP). Berikut merupakan komposisi aliran masuk sistem :

**Tabel IV.1** Komposisi Aliran Masuk Sistem

Komponen	Flowrate (Kg/h)	%Massa
I-BUTANE	$2.2 \times 10^{-5}$	0.00%
N-BUTANE	$8.6 \times 10^{-5}$	0.00%
N-PENTAN	0.0103	0.11%
N-HEXANE	0.0131	0.14%
N-HEPTAN	0.0292	0.32%
N-OCTANE	0.0281	0.30%
N-NONANE	0.0417	0.45%
WATER	0.0249	0.27%

CHRYSENE	0.9198	9.92%
PC175C	0.0077	0.08%
PC184C	0.0405	0.44%
PC198C	0.0430	0.46%
PC211C	0.0461	0.50%
PC225C	0.0495	0.53%
PC239C	0.0533	0.57%
PC253C	0.0584	0.63%
PC267C	0.0669	0.72%
PC281C	0.0799	0.86%
PC295C	0.0936	1.01%
PC309C	0.1008	1.09%
PC323C	0.1122	1.21%
PC337C	0.1267	1.37%
PC350C	0.1432	1.54%
PC364C	0.1652	1.78%
PC378C	0.1959	2.11%
PC392C	0.2568	2.77%
PC407C	0.5000	5.39%
PC421C	0.9202	9.92%
PC440C	1.9430	20.95%
PC467C	0.9622	10.38%
PC495C	0.5688	6.13%
PC523C	0.3443	3.71%
PC552C	0.3627	3.91%
PC582C	0.9646	10.40%
<b>TOTAL</b>	9.2726	100.00%

Komposisi pada Tabel IV.1 di atas hasil dari data *assay* minyak pelumas bekas *Studi Tecnologie Progetti Srl* (STP). Kondisi aliran masuk tersebut adalah pada suhu 200°C, tekanan 2.53 kPa dan *flowrate* sebesar 9.2726 kg/h. Komponen hidrokarbon dalam minyak pelumas bekas diwakili dengan komponen PC (senyawa hipotetikal yang dihasilkan dari input *data assay*). Kandungan minyak pelumas yang ditentukan pada penelitian ini dibagi menjadi 4 (empat) grup yaitu *light end*, *gas oil*, *lube oil*, dan residu sesuai pada tabel IV.2

**Tabel IV.2** Pembagian Grup Minyak Pelumas Bekas

Grup	Komponen	Flowrate (Kg/h)	%Massa
<i>Light End</i>	<i>i-Butane - n-Pentane</i>	$1.1 \times 10^{-4}$	0.00%
<i>Gas Oil</i>	n-Hexane - n-Nonane, water, PC175C - PC295C	0.6758	7.30%
<i>Lube Oil</i>	<i>Chrysene</i> , PC309C - PC523C	7.2591	78.37%
Residu	PC552C - PC582C	1.3273	14.33%
<b>TOTAL</b>		9.2623	100.00%

## IV.2 Analisa Hasil

Dalam hal ini hasil yang didapatkan pertama adalah perbandingan antara kenaikan putaran rotor *thin film evaporator* dengan perubahan koefisien perpindahan panas. Perbandingan ini didapatkan dari persamaan-persamaan dari perhitungan manual *thin film evaporator*. Kemudian nilai koefisien perpindahan panas yang didapat akan dimasukkan menjadi variabel yang mewakili putaran rotor pada simulasi *thin film evaporator* yang dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dan *flash drum*.

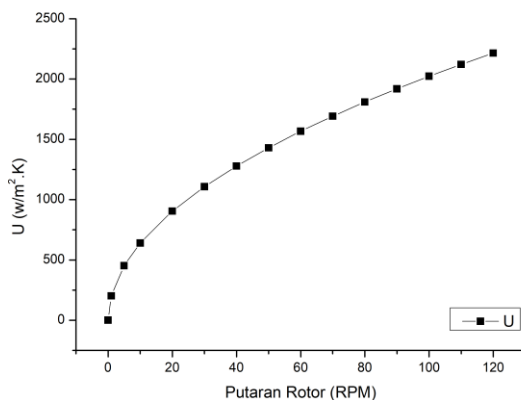
Dari simulasi ini akan didapatkan hubungan antara putaran rotor *thin film evaporator* dan variasi suhu operasi pada tekanan 2.53 kPa terhadap hasil yang diinginkan, yaitu berapa

fraksi uap dan komposisi produk atas *thin film evaporator* yang terbentuk. Terakhir adalah validasi data *thin film evaporator* dengan perhitungan manual. Sehingga akan didapatkan *error* dari hasil simulasi dan perhitungan secara manual.

#### IV.2.1 Perbandingan Putaran Rotor dengan Koefisien Perpindahan Panas

Untuk memvariasikan kecepatan putaran rotor, yang bisa dispesifikasikan dalam simulasi pada *software Aspen Plus* adalah koefisien perpindahan panas ( $U$ ). Jadi perlu melakukan perhitungan secara manual terlebih dahulu untuk menentukan berapa nilai dari koefisien perpindahan panas tersebut untuk setiap variabel kecepatan putaran rotor.

Hasil yang didapatkan ada pada grafik pada Gambar IV.1 sebagai berikut:



**Gambar IV.1** Grafik Perbandingan Antara Koefisien Perpindahan Panas Dengan Kecepatan Putaran Rotor

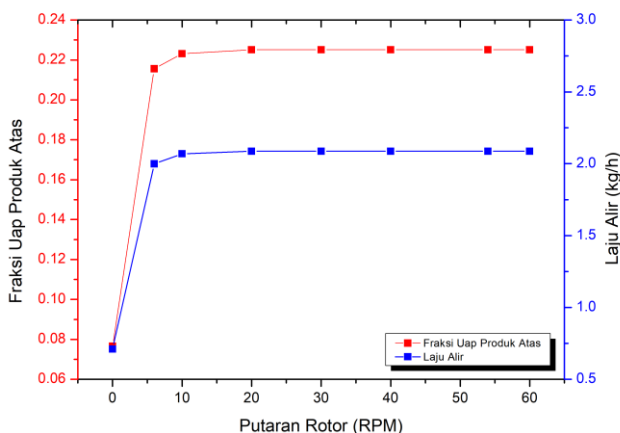
Dari grafik pada Gambar IV.1 tersebut dapat dilihat bahwa hubungan antara koefisien perpindahan panas dengan kecepatan putaran rotor secara umum berbanding lurus. Nilai

koefisien perpindahan panas yang didapat dari perhitungan akan dimasukkan dalam spesifikasi permodelan *thin film evaporator* pada *software* Aspen Plus untuk setiap variabel kecepatan putaran rotor.

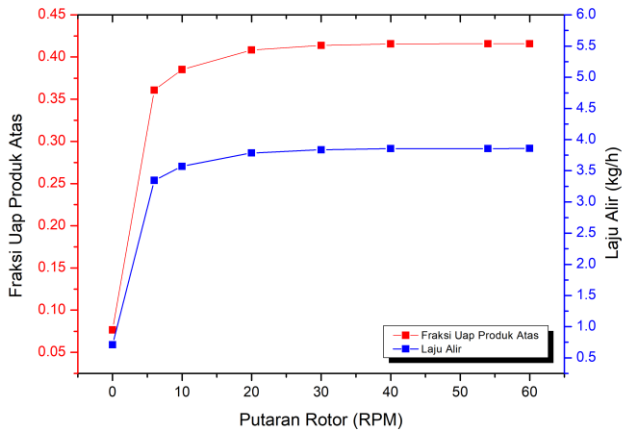
#### IV.2.2 Variabel Putaran Rotor Terhadap Fraksi Uap dan Laju Alir

Variasi putaran rotor yang digunakan dalam menjalankan simulasi ini adalah pada 0 RPM, 10 RPM, 20 RPM, 30 RPM, 40 RPM, 50 RPM dan 60 RPM. Variasi putaran rotor ini akan disimulasikan terhadap tiap variabel suhu operasi *thin film evaporator* pada suhu 250°C, 270°C, 290°C, 310°C dan 330°C dengan parameter penilaiannya dari jumlah fraksi uap dan komposisi yang terbawa ke *top product*. Dalam hal ini dibutuhkan *input* tekanan operasi pada kondisi vakum yaitu 2.53 kPa.

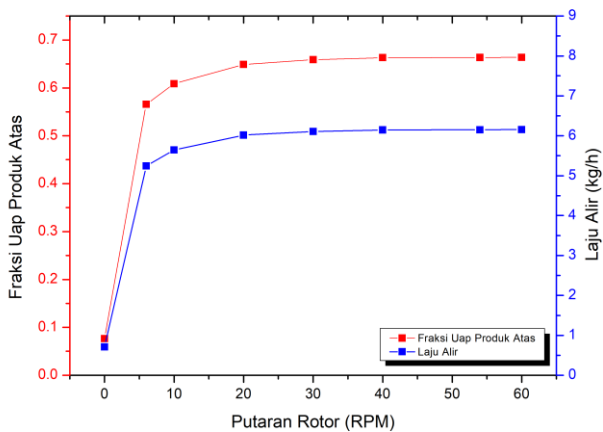
Hasil dari simulasi model *thin film evaporator* (kombinasi *heat exchanger* dengan *flash column*) untuk variabel putaran rotor adalah sebagai berikut:



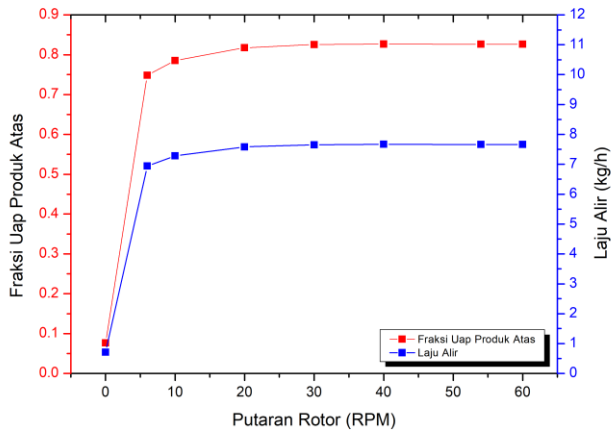
**Gambar IV.2** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 250°C dan Tekanan 2.53 kPa



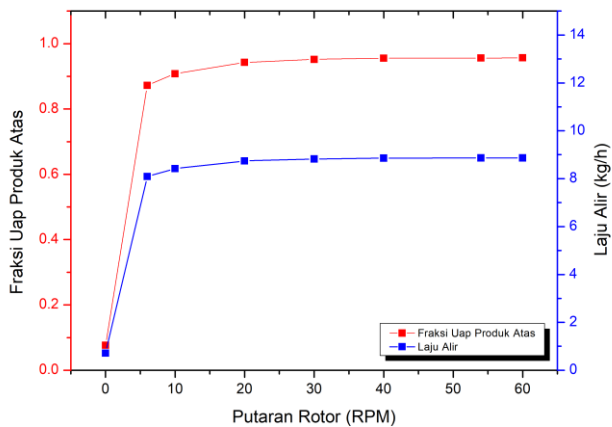
**Gambar IV.3** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 270°C dan Tekanan 2.53 kPa



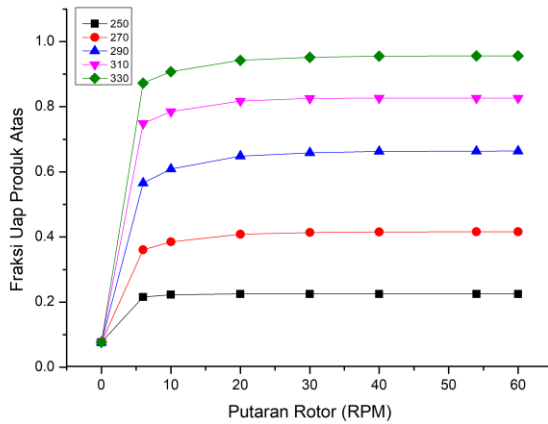
**Gambar IV.4** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 290°C dan Tekanan 2.53 kPa



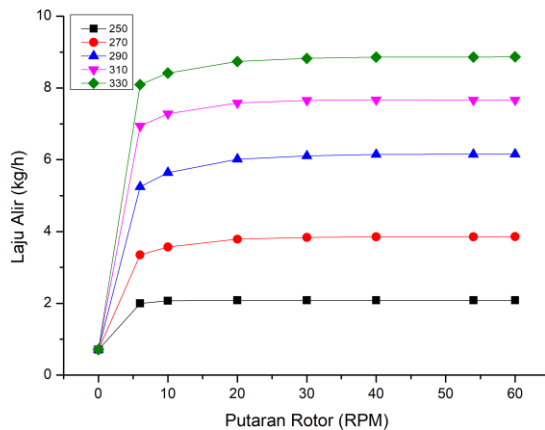
**Gambar IV.5** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 310°C dan Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.6** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 330°C dan Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.7** Grafik Fraksi Uap Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Suhu Operasi Pada Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.8** Grafik Laju Alir Uap Produk Atas vs Putaran Rotor *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Suhu Operasi Pada Tekanan 2.53 kPa



Untuk parameter fraksi uap dan laju alir produk atas *thin film evaporator*, dapat dilihat dari grafik IV.2 – IV.6 diatas, memiliki hubungan antara fraksi uap dan laju alir produk atas *thin film evaporator* dengan putaran rotor adalah berbanding lurus. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran rotor dari *thin film evaporator* akan mengakibatkan hasil yang lebih baik dari segi fraksi uap dan laju alir yang menuju produk atas.

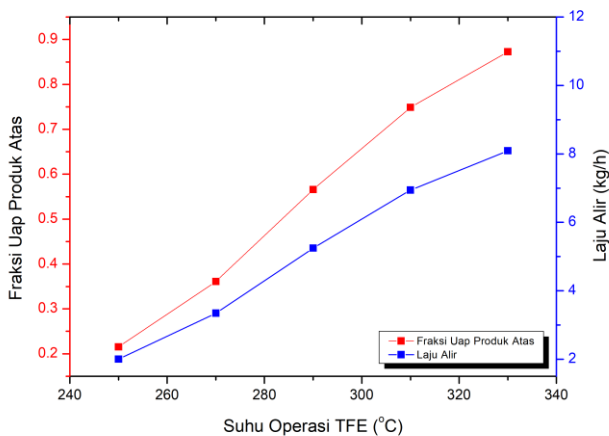
Untuk parameter persentase minyak pelumas yang ke produk, dapat dilihat untuk putaran rotor dibawah 6 RPM mendapat hasil kenaikan yang signifikan. Kemudian naik terus seiring naiknya variabel putaran rotor hingga pada variabel putaran rotor 30 RPM. Setelah putaran rotor 30 RPM kenaikannya tidak signifikan atau mungkin tidak ada kenaikan.

Hal ini dikarenakan semakin besar putaran rotor, sesuai dengan persamaan perpindahan panas untuk menghitung koefisien perpindahan panas, putaran rotor berbanding lurus dengan nilai bilangan *Reynold* (Re). Bilangan *Reynold* memiliki hubungan dengan Bilangan *Nusselt* yaitu berbanding lurus. Kemudian bilangan *Nusselt* berbanding lurus dengan *process side* (hp) sedangkan *process side* (hp) juga berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas (U). Sehingga makin tinggi nilai dari kecepatan putaran rotor akan makin tinggi pula nilai dari koefisien perpindahan panas.

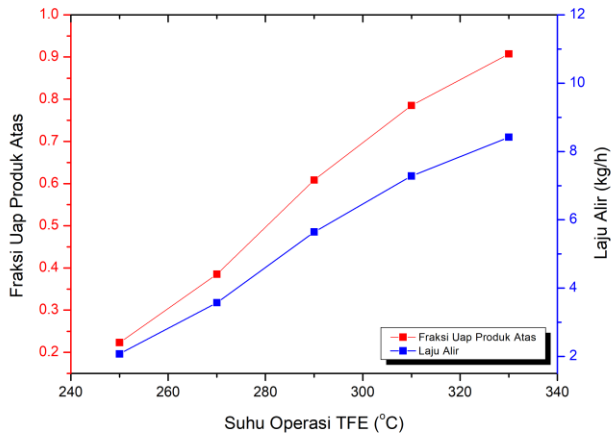
### **IV.2.3 Variabel Suhu Operasi Terhadap Fraksi Uap dan Laju Alir**

Variasi suhu yang digunakan dalam *running* simulasi ini adalah pada *range* 250°C hingga 330°C dengan interval 20°C. 5 variasi suhu ini akan disimulasikan terhadap tiap variabel putaran rotor dari 0 RPM hingga 60 RPM dan pada tekanan 2.53 kPa dengan parameter penilaiannya dari fraksi uap dan laju alir yang terbawa ke *top product*.

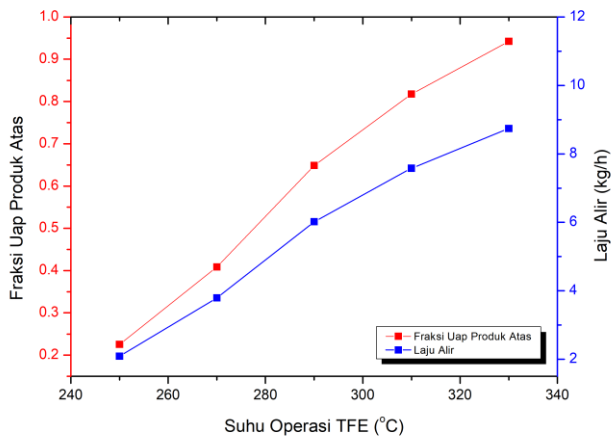
Hasil dari simulasi model *thin film evaporator* (kombinasi *heat exchanger* dengan *flash column*) untuk variabel suhu adalah sebagai berikut:



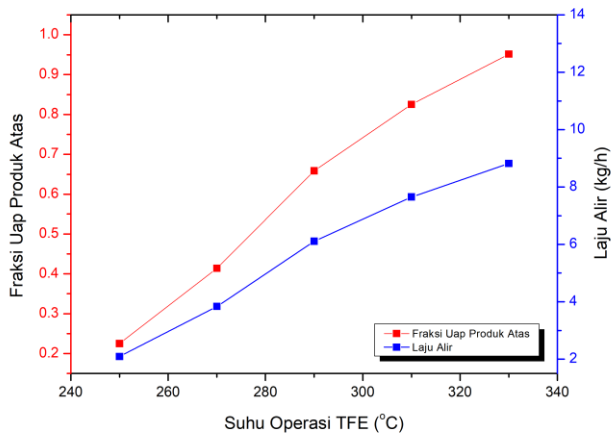
**Gambar IV.9** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 6 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



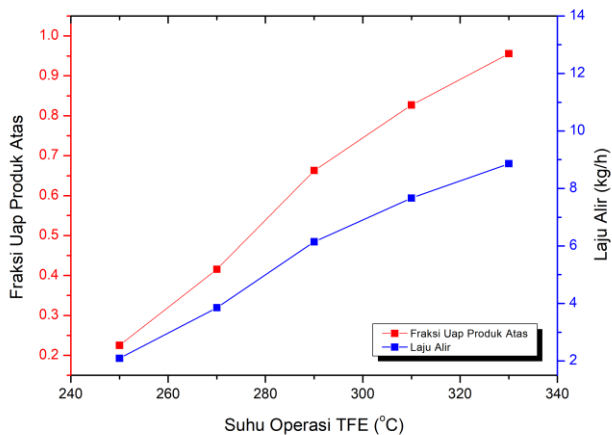
**Gambar IV.10** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 10 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



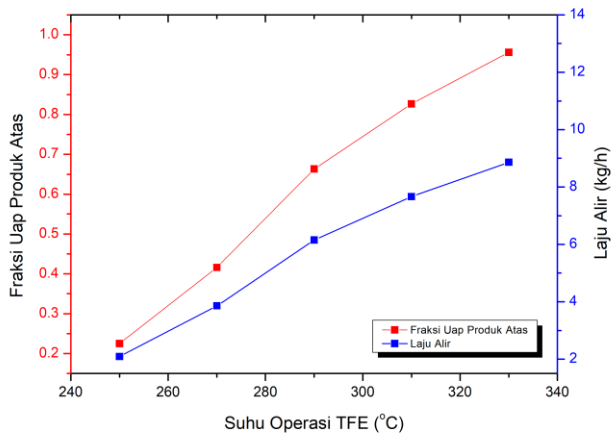
**Gambar IV.11** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 20 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



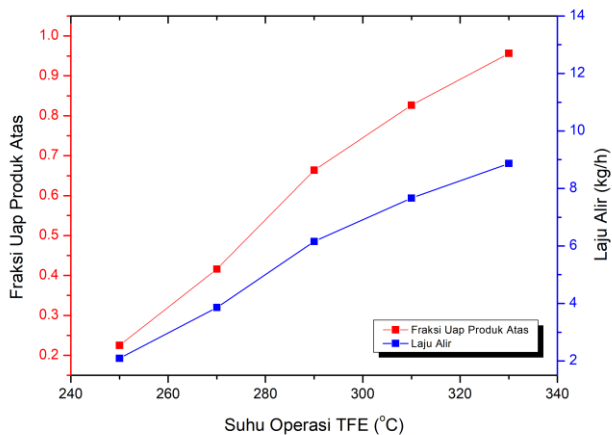
**Gambar IV.12** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 30 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



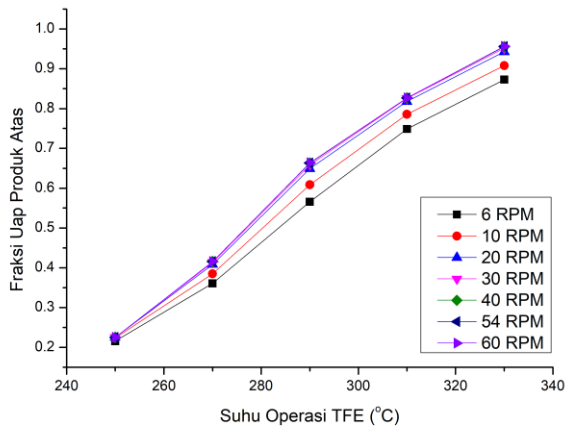
**Gambar IV.13** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 40 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



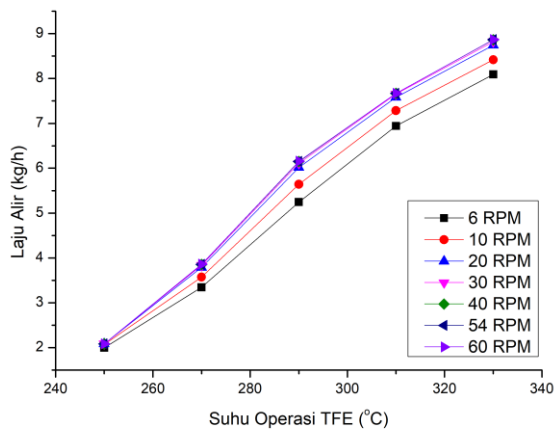
**Gambar IV.14** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 54 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.15** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 60 RPM Pada Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.16** Grafik Fraksi Uap dan Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.17** Grafik Laju Alir Produk Atas vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa

Berdasarkan gambar IV.9 – IV.15 mengenai pengaruh suhu terhadap hasil produk dari proses ini, semuanya memiliki hasil yang sama yaitu semakin tinggi suhu operasi maka akan semakin tinggi pula fraksi uap produk atas serta semakin tinggi pula laju alir produk yang didapatkan. Hal ini dikarenakan proses pemisahan menggunakan distilasi vakum ini menggunakan prinsip titik didih dari komponen yang akan dipisahkan. Jadi sudah ditetapkan suhu operasi yang sesuai sehingga titik didih zat yang akan dipisahkan sesuai dengan suhu dan tekanan operasi jadi akan didapat hasil yang sesuai.

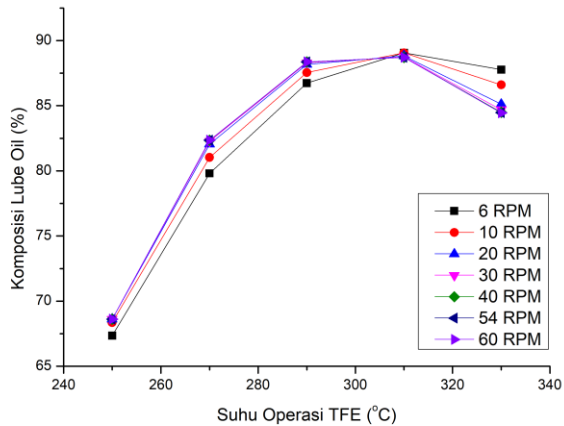
Namun dari grafik diatas hanya melihat secara kuantitas dari produk uap yang dihasilkan dimana semakin tinggi suhu operasi *thin film evaporator* maka semakin tinggi pula produk uap yang dihasilkan dan belum bisa menyimpulkan berapa suhu operasi *thin film evaporator* yang optimal. Maka dari itu perlu dilakukan analisa lebih mendalam mengenai kualitas dari produk yang dihasilkan, yaitu analisa mengenai komposisi dari produk uap pada masing-masing variabel.

#### **IV.2.4 Variabel Suhu Operasi Terhadap Komposisi Produk**

*Thin film evaporator* yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk memisahkan residu yang terkandung di dalam minyak pelumas bekas dan mengambil sebanyak-banyaknya komponen *lube oil* sebagai produk. Jadi kualitas dari produk yang dihasilkan pada penelitian ini didasakan pada kedua komponen yaitu *lube oil* dan residu pada produk uap *thin film evaporator*. Semakin tinggi kandungan *lube oil* pada produk yang dihasilkan, maka semakin baik kondisi operasi yang digunakan.

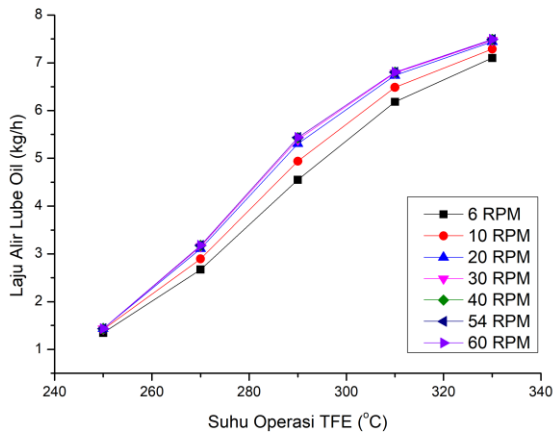
Variasi suhu yang digunakan dalam *running* simulasi ini adalah pada *range* 250°C hingga 330°C dengan interval 20°C. 5 variasi suhu ini akan disimulasikan terhadap tiap variabel putaran rotor dari 6 RPM hingga 60 RPM dan pada tekanan 2.53 kPa dengan parameter penilaiannya dari presentase komposisi dan laju alir *lube oil* dan residu.

Hasil dari simulasi model *thin film evaporator* (kombinasi *heat exchanger* dengan *flash column*) untuk variabel suhu adalah sebagai berikut:

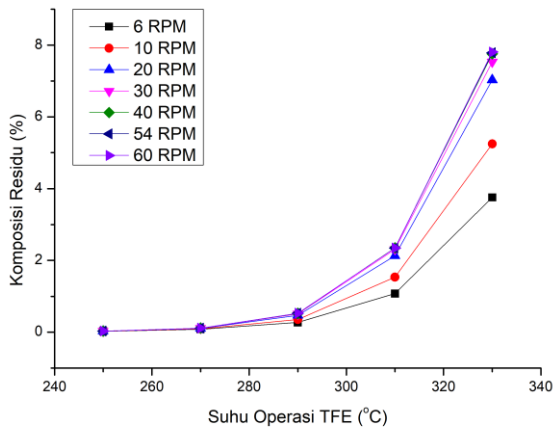


**Gambar IV.18** Grafik %Komposisi *Lube Oil* Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa

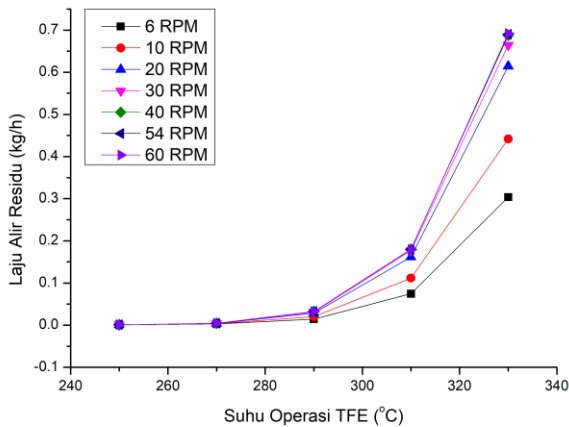




**Gambar IV.19** Grafik Laju Alir *Lube Oil* Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.20** Grafik % Komposisi Residu Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa



**Gambar IV.21** Grafik Laju Alir Residu Pada Produk Uap vs Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Berbagai Putaran Rotor Pada Tekanan 2.53 kPa

Dapat dilihat pada gambar IV.18 persentase komposisi *lube oil* pada putaran rotor 60 RPM lebih tinggi dari pada putaran rotor 6 RPM pada range suhu operasi *thin film evaporator* 250°C – 310°C dan pada range suhu diatas 310°C persentase komposisi *lube oil* pada putaran rotor 60 RPM lebih rendah daripada putaran rotor 6 RPM. Jadi titik puncak atau persentase komposisi *lube oil* tertinggi pada suhu 310°C. Hal ini dapat dijelaskan karena pada range suhu dibawah 310°C setiap kenaikan suhu operasi *thin film evaporator* laju alir *lube oil* semakin meningkat dengan signifikan sesuai gambar IV.19 dan laju alir dari residu meningkat namun tidak terlalu signifikan sehingga persentase *lube oil* meningkat sesuai gambar IV.21.

Namun pada suhu operasi *thin film evaporator* diatas 310°C setiap kenaikan suhu operasi *thin film evaporator* laju alir *lube oil* meningkat namun tidak signifikan saat suhu operasi di bawah 310°C dan laju alir dari residu meningkat secara signifikan sesuai gambar IV.21 yang menyebabkan persentase *lube oil* menurun.

Jadi untuk variabel suhu operasi dan putaran rotor, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum operasi *thin film evaporator* ini pada suhu 330°C dengan putaran rotor 30 RPM.

#### IV.2.5 Validasi Menggunakan Perhitungan Manual

Karena tidak adanya fitur *thin film evapoator* pada Aspen Plus, maka alat tersebut dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dan *flash drum*. Karena itu pastinya akan ada *error* yang dihasilkan dalam simulasi. Jadi perlu adanya validasi hasil simulasi menggunakan perhitungan manual. Hasil dari validasi adalah sebagai berikut:

**Tabel IV.3** Perbandingan Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Menggunakan Aspen Plus dan Perhitungan Matlab Suhu Operasi 330°C

RPM	Fraksi Produk Atas		$\% \text{ Error} = \frac{(\text{Fraksi}_{\text{Matlab}} - \text{Fraksi}_{\text{Aspen}})}{\text{Fraksi}_{\text{Matlab}}} \times 100\%$
	Matlab	Aspen Plus	
6	0.7829	0.7486	4.38%
10	0.8146	0.7854	3.59%
20	0.8405	0.8176	2.73%
30	0.8460	0.8253	2.45%
40	0.8484	0.8268	2.55%
54	0.8436	0.8265	2.03%
60	0.8492	0.8265	2.67%
Error Rata-Rata			2.91%

Berdasarkan hasil data perhitungan dengan menggunakan Matlab dan hasil simulasi menggunakan Aspen Plus, didapatkan perbedaan hasil laju alir produk atas yang terbentuk. Tetapi karena error rata-rata tidak melebihi 5% sehingga

permodelan pada Aspen Plus dapat mewakili proses pada *Thin Film Evaporator*. %error yang didapat pada kondisi optimum, suhu 330°C dan putaran rotor 30 RPM, adalah sebesar 2.45%.

#### IV.2.6 Komposisi Produk Pada Kondisi Operasi Optimum

Kondisi optimum pada operasi ini berdasarkan dari tinjauan ekonomis antara energi dan laju alir *lube oil* yang paling tinggi yaitu pada kondisi suhu operasi sebesar 330°C dengan putaran rotor optimum yaitu pada 30 RPM. Dalam kondisi operasi tersebut, produk yang didapat memiliki komposisi sebagai berikut.

**Tabel IV.4** Komposisi Produk Atas Pada Kondisi Optimum

Komponen	Laju Alir (Kg/h)	%Massa
I-BUTANE	2.16 x 10 <sup>5</sup>	0.00%
N-BUTANE	8.63 x 10 <sup>5</sup>	0.00%
N-PENTAN	0.010304	0.11%
N-HEXANE	0.013142	0.14%
N-HEPTAN	0.029221	0.30%
N-OCTANE	0.028085	0.29%
N-NONANE	0.041734	0.43%
WATER	0.024936	0.26%
CHRYSENE	0.915296	9.49%
PC175C	0.007705	0.08%
PC184C	0.040479	0.42%
PC198C	0.042962	0.45%
PC211C	0.046106	0.48%
PC225C	0.049445	0.51%
PC239C	0.053245	0.55%
PC253C	0.058372	0.61%
PC267C	0.066842	0.69%

PC281C	0.079871	0.83%
PC295C	0.093541	9.49%
PC309C	0.100731	1.04%
PC323C	0.112152	1.16%
PC337C	0.126601	1.31%
PC350C	0.143046	1.48%
PC364C	0.164919	1.71%
PC378C	0.195522	2.03%
PC392C	0.25609	2.66%
PC407C	0.498019	5.16%
PC421C	0.914931	9.49%
PC440C	1.925446	19.96%
PC467C	0.945684	9.80%
PC495C	0.548987	5.69%
PC523C	0.319055	3.31%
PC552C	0.306359	3.18%
PC582C	0.66463	6.89%
<b>TOTAL</b>	8.8236	100.00%

**Tabel IV.5** Komposisi Group Produk Atas Pada Kondisi Optimum

<b>Grup</b>	<b>Komponen</b>	<b>Laju Alir (Kg/h)</b>	<b>%Massa</b>
<i>Light End</i>	<i>i-Butane - n-Pentane</i>	0.0104	0.12%
<i>Gas Oil</i>	n-Hexane - n-Nonane, <i>water</i> , PC175C - PC295C	0.6757	7.66%
<i>Lube Oil</i>	<i>Chrysene</i> , PC309C - PC523C	7.4728	84.69%
Residu	PC552C - PC582C	0.6646	7.53%
<b>TOTAL</b>		8.8236	100.00%



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Telah didapatkan model perancangan *steady state thin film evaporator* yang dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dengan *flash column* untuk proses pemisahan fraksi berat dalam minyak pelumas bekas menggunakan *software Aspen Plus™* dan divalidasi menggunakan perhitungan *Matlab™* dengan hasil *error* tidak lebih besar dari 5% yang mana simulasi dapat dikatakan valid.
2. Hubungan antara suhu operasi dan putaran rotor *thin film evaporator* terhadap fraksi uap yang dihasilkan adalah berbanding lurus. Semakin tinggi suhu operasi dan putaran rotor *Thin Film Evaporator* semakin tinggi pula fraksi uap yang dihasilkan. Namun untuk putaran rotor diatas 30 RPM peningkatannya tidak terlalu besar atau stagnan.
3. Kondisi operasi optimum berdasarkan dari tinjauan ekonomis antara energi dan laju alir *lube oil* paling tinggi didapatkan pada kondisi sebagai berikut:

- Kecepatan Putaran Rotor = 30 RPM
- Suhu operasi = 330°C

Dengan hasil sebagai berikut:

- Fraksi Uap = 0.9515
- Persentase fraksi oli ke produk = 84.69 %
- Massa Produk = 7.4728 kg/h

#### **V.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran sebagai berikut:

1. Melakukan eksperimen pada alat *thin film evaporator* di laboratorium Trosobo untuk validasi hasil simulasi dan perhitungan manual.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chawankul, N. 2001. *Simulation of an Agitated Thin Film Evaporator for Concentrating Orange Juice Using Aspen Plus<sup>TM</sup>*. Journal of Food Engineering
- Chen and Mathias. 2002. *Applied Thermodynamics for Process Modeling*. AICHE Journal
- Dewi. 2013. *Evaporating Process Simulation Of Black Liquor In Falling Film Evaporator With Air Flow*. Surabaya : ITS
- Dziak, J. 2011. *Mass and Heat Transfer During Thin Film Evaporator of Liquid Solution*. ISBN: InTech
- Glover, W. B. 2004. *Selecting Evaporators for Process Applications*. North Carolina: LCI Corp
- Komariah, L. N. 2009. *Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Lam. 2015. *Catalytic Microwave Pyrolysis of Waste Engine Oil Using Metallic Pyrolysis Char*. Applied Catalysis B : Environmental
- McKenna, T. F. 1994. *Design Model of a Wiped Film Evaporator, Application to The Devolatilisation of Polymer Melts*. Chemical Engineering Science
- Nandyojati, 2017. *Heavy Fraction Separation Process Design From Used Lube Oil Using Vacuum Distillation and Thin Film Evaporator*. Surabaya : ITS
- Rafie. 2013. *Waste Lubricating Oil Treatment by Extraction and Adsorption*. Chemical Engineering Journal
- Siswanti. 2010. *Pengaruh Penambahan Aditif Proses Daur Ulang Minyak Pelumas Bekas Terhadap Sifat-Sifat Fisis*. Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Kimia EKSERGI
- Subiyanto. 1989. *Jenis-Jenis Logam yang Terdapat Dalam Minyak Lumas Bekas dan Sumber Asalnya*. Lembaran Publikasi Lemigas
- Speight, J. G. 2014. *Refining Used Lubricating Oils*. Boca Raton: CRC Press



- STP, Administrator. *Used Lube Oil Re-refining*. Presentation of STP. Rome, Italy: Studi Tecnologie Progetti Srl.
- Tham, M. T. 2006. *Distillation Column Design*. UK: R. C. Costello and Associates, Inc
- Treybal, R. E. 1981. *Mass Transfer Operations Third Edition*. Singapore: McGraw-Hil Companies, Inc
- VTE, Administrator. *Thin Film Evaporator*. <http://www.vta-process.de>
- Zeboudj, S. 2006. *Modelling of Flowing a Wiped Film Evaporator*. Chemical Engineering Science

## DAFTAR NOTASI

A	Overall Heat Transfer Area ( $m^2$ )
C <sub>p</sub>	Specific Heat Capacity (kJ/kg °C)
D	Diameter Ekvivalen (m)
D <sub>s</sub>	Diameter Shell (m)
D <sub>r</sub>	Diameter Rotor (m)
F <sub>f</sub>	Feed Thin Film Evaporator (kg/jam)
$h_p$	Koeffisien Perpindahan Panas Likuida (kw/m <sup>2</sup> °C)
$h_s$	Koeffisien Perpindahan Panas Steam (kw/m <sup>2</sup> °C)
$h_{sc}$	Koeffisien Perpindahan <i>Thin Film Evaporator</i> (kw/m <sup>2</sup> °C)
k	Konduktifitas Thermal (kw/m <sup>2</sup> °C)
N	Perputaran Rotor (rpm)
N <sub>u</sub>	Bilangan Nusselt
Pr	Bilangan Prandtl
Re	Bilangan Reynold
T <sub>f</sub>	Suhu Feed Thin Film Evaporator (°C)
T <sub>p</sub>	Suhu Produk Thin Film Evaporator (°C)
U	Overall Heat Transfer Coefficient (kw/m <sup>2</sup> °C)
V	Vapor Flowrate (kg/h)
σ <sub>w</sub>	Tebal Dinding (m)
λ	Latent Heat of Vaporization (kJ/kg)
ρ	Densitas Feed (kg/m <sup>3</sup> )
η	Viskositas (cP)

## APPENDIKS A

**Tabel A.1** Fraksi Massa Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 250°C  
Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Kebutuhan Steam (Kg/h)	Massa Produk (Kg/h)		Fraksi Massa Produk Atas
					Bawah	Atas	
1	0	250	0.2000	0.0011	8.5626	0.7100	0.0766
2	6	250	495.4784	0.7896	7.2736	1.9990	0.2156
3	10	250	639.6599	0.8154	7.2036	2.0690	0.2231
4	20	250	904.6157	0.8220	7.1854	2.0872	0.2251
5	30	250	1107.9234	0.8220	7.1854	2.0872	0.2251
6	40	250	1279.3198	0.8220	7.1854	2.0872	0.2251
7	54	250	1486.4353	0.8220	7.1854	2.0872	0.2251
8	60	250	1566.8403	0.8220	7.1854	2.0872	0.2251

**Tabel A.2** Fraksi Massa Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 270°C  
Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Kebutuhan Steam (Kg/h)	Massa Produk (Kg/h)		Fraksi Massa Produk Atas
					Bawah	Atas	
1	0	270	0.2000	0.0017	8.5622	0.7104	0.0766
2	6	270	495.4784	1.2865	5.9270	3.3456	0.3608
3	10	270	639.6599	1.3494	5.7012	3.5714	0.3852
4	20	270	904.6157	1.4081	5.4853	3.7873	0.4084
5	30	270	1107.9234	1.4212	5.4362	3.8364	0.4137
6	40	270	1279.3198	1.4260	5.4184	3.8542	0.4157
7	54	270	1486.4353	1.4265	5.4167	3.8559	0.4158
8	60	270	1566.8403	1.4267	5.4157	3.8569	0.4159

**Tabel A.3** Fraksi Massa Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 290°C  
Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Kebutuhan Steam (Kg/h)	Massa Produk (Kg/h)		Fraksi Massa Produk Atas
					Bawah	Atas	
1	0	290	0.2000	0.0024	8.5618	0.7108	0.0767
2	6	290	495.4784	1.9513	4.0275	5.2451	0.5657
3	10	290	639.6599	2.0660	3.6297	5.6429	0.6086
4	20	290	904.6157	2.1770	3.2565	6.0161	0.6488
5	30	290	1107.9234	2.2049	3.1653	6.1073	0.6586
6	40	290	1279.3198	2.2169	3.1263	6.1463	0.6628
7	54	290	1486.4353	2.2183	3.1217	6.1509	0.6633
8	60	290	1566.8403	2.2193	3.1186	6.1540	0.6637

**Tabel A.4** Fraksi Massa Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 310°C  
Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Kebutuhan Steam (Kg/h)	Massa Produk (Kg/h)		Fraksi Massa Produk Atas
					Bawah	Atas	
1	0	310	0.2000	0.0032	8.5614	0.7112	0.0767
2	6	310	495.4784	2.7823	2.3310	6.9416	0.7486
3	10	310	639.6599	2.9225	1.9901	7.2825	0.7854
4	20	310	904.6157	3.0527	1.6917	7.5809	0.8176
5	30	310	1107.9234	3.0848	1.6200	7.6526	0.8253
6	40	310	1279.3198	3.0910	1.6063	7.6663	0.8268
7	54	310	1486.4353	3.0900	1.6085	7.6641	0.8265
8	60	310	1566.8403	3.0900	1.6085	7.6641	0.8265

**Tabel A.5** Fraksi Massa Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 330°C  
Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Kebutuhan Steam (Kg/h)	Massa Produk (Kg/h)		Fraksi Massa Produk Atas
					Bawah	Atas	
1	0	330	0.2000	0.0045	8.5610	0.7116	0.0767
2	6	330	495.4784	3.8782	1.1824	8.0902	0.8725
3	10	330	639.6599	4.0531	0.8558	8.4168	0.9077
4	20	330	904.6157	4.2189	0.5330	8.7396	0.9425
5	30	330	1107.9234	4.2603	0.4490	8.8236	0.9516
6	40	330	1279.3198	4.2784	0.4120	8.8606	0.9556
7	54	330	1486.4353	4.2805	0.4077	8.8649	0.9560
8	60	330	1566.8403	4.2819	0.4047	8.8679	0.9564

**Tabel A.6** Persentase Komponen *Lube Oil* dan Residu di Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 250°C Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Massa Komponen (Kg/h)		Persentase Komponen	
				<i>Lube Oil</i>	Residu	<i>Lube Oil</i>	Residu
1	0	250	0.2000	0.1914	9.6E-06	26.96%	0.00%
2	6	250	495.4784	1.3463	0.0006	67.35%	0.03%
3	10	250	639.6599	1.4143	0.0006	68.36%	0.03%
4	20	250	904.6157	1.4320	0.0006	68.61%	0.03%
5	30	250	1107.9234	1.4320	0.0006	68.61%	0.03%
6	40	250	1279.3198	1.4320	0.0006	68.61%	0.03%
7	54	250	1486.4353	1.4320	0.0006	68.61%	0.03%
8	60	250	1566.8403	1.4320	0.0006	68.61%	0.03%



**Tabel A.7** Persentase Komponen *Lube Oil* dan Residu di Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 270°C Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Massa Komponen (Kg/h)		Persentase Komponen	
				<i>Lube Oil</i>	Residu	<i>Lube Oil</i>	Residu
1	0	270	0.2000	0.1917	9.7E-06	26.98%	0.00%
2	6	270	495.4784	2.6703	0.0027	79.81%	0.08%
3	10	270	639.6599	2.8937	0.0034	81.02%	0.09%
4	20	270	904.6157	3.1075	0.0041	82.05%	0.11%
5	30	270	1107.9234	3.1561	0.0043	82.27%	0.11%
6	40	270	1279.3198	3.1738	0.0043	82.35%	0.11%
7	54	270	1486.4353	3.1754	0.0043	82.35%	0.11%
8	60	270	1566.8403	3.1764	0.0044	82.36%	0.11%

**Tabel A.8** Persentase Komponen *Lube Oil* dan Residu di Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 290°C Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Massa Komponen (Kg/h)		Persentase Komponen	
				<i>Lube Oil</i>	Residu	<i>Lube Oil</i>	Residu
1	0	290	0.2000	0.1920	9.7E-06	27.00%	0.00%
2	6	290	495.4784	4.5493	0.0141	86.73%	0.27%
3	10	290	639.6599	4.9402	0.0201	87.55%	0.36%
4	20	290	904.6157	5.3043	0.0283	88.17%	0.47%
5	30	290	1107.9234	5.3928	0.0309	88.30%	0.51%
6	40	290	1279.3198	5.4306	0.0321	88.35%	0.52%
7	54	290	1486.4353	5.4350	0.0323	88.36%	0.52%
8	60	290	1566.8403	5.4380	0.0324	88.37%	0.53%

**Tabel A.9** Persentase Komponen *Lube Oil* dan Residu di Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 310°C Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Massa Komponen (Kg/h)		Persentase Komponen	
				<i>Lube Oil</i>	Residu	<i>Lube Oil</i>	Residu
1	0	310	0.2000	0.1922	9.7E-06	27.03%	0.00%
2	6	310	495.4784	6.1823	0.0745	89.06%	1.07%
3	10	310	639.6599	6.4857	0.1117	89.06%	1.53%
4	20	310	904.6157	6.7339	0.1616	88.83%	2.13%
5	30	310	1107.9234	6.7903	0.1768	88.73%	2.31%
6	40	310	1279.3198	6.8009	0.1799	88.71%	2.35%
7	54	310	1486.4353	6.7992	0.1794	88.71%	2.34%
8	60	310	1566.8403	6.7992	0.1794	88.71%	2.34%

**Tabel A.10** Persentase Komponen *Lube Oil* dan Residu di Produk Atas Dari Hasil Simulasi *Thin Film Evaporator* Pada Suhu 330°C Untuk Setiap Kecepatan Putar Rotor

No.	N (RPM)	Suhu Operasi TFE (Celcius)	hsc (w/m <sup>2</sup> .K)	Massa Komponen (Kg/h)		Persentase Komponen	
				<i>Lube Oil</i>	Residu	<i>Lube Oil</i>	Residu
1	0	330	0.2000	0.1925	9.7E-06	27.05%	0.00%
2	6	330	495.4784	7.1007	0.3038	87.77%	3.75%
3	10	330	639.6599	7.2891	0.4417	86.60%	5.25%
4	20	330	904.6157	7.4392	0.6144	85.12%	7.03%
5	30	330	1107.9234	7.4728	0.6646	84.69%	7.53%
6	40	330	1279.3198	7.4870	0.6874	84.50%	7.76%
7	54	330	1486.4353	7.4887	0.6901	84.48%	7.78%
8	60	330	1566.8403	7.4898	0.6920	84.46%	7.80%

**Tabel A.11** Hubungan Putaran Rotor Dengan Koefisien Perpindahan Panas

<b>No.</b>	<b>Putaran Rotor (RPM)</b>	<b>Koefisien Perpindahan Panas <i>Thin Film Evaporator</i> (w/m<sup>2</sup>.K)</b>
1	0	0.2023
2	1	202.2782
3	5	452.3078
4	10	639.6599
5	20	904.6157
6	30	1107.9234
7	40	1279.3198
8	50	1430.3230
9	60	1566.8403
10	70	1692.3810
11	80	1809.2314
12	90	1918.9797
13	100	2022.7822
14	110	2121.5119
15	120	2215.8469

## APPENDIKS B

### 1. Coding Untuk Perhitungan Menggunakan Simulasi Matlab

```
clc;  
clear;
```

```
syms v
```

```
%RPM 0
```

```
rpm0250=[2431.51;2082.61;1168.58;663.72;387.19;228.04;135.83  
;8411.39;7.15e-  
2;75.77;56.04;40.88;27.03;19.77;13.57;9.21;6.17;4.05;2.64;1.71;1.  
07;0.66;0.403;0.239;0.14;7.80e-2;4.35e-2;1.91e-2;6.39e-3;1.81e-  
3;4.33e-4;9.65e-5;1.93e-5];  
rpm0270=[2432.09;2083.14;1168.96;663.93;387.37;228.16;135.91  
;8412.11;7.16e-  
2;75.81;56.08;40.91;27.06;19.79;13.58;9.22;6.18;4.06;2.64;1.71;1.  
07;0.66;0.404;0.239;0.14;7.81e-2;4.36e-2;1.91e-2;6.40e-3;1.81e-  
3;4.33e-4;9.67e-5;1.93e-5];  
rpm0290=[2432.66;2083.67;1169.34;664.25;387.55;228.28;135.99  
;8412.83;7.17e-  
2;75.86;56.12;40.94;27.08;19.80;13.59;9.23;6.18;4.06;2.64;1.71;1.  
07;0.66;0.404;0.240;0.14;7.82e-2;4.36e-2;1.91e-2;6.41e-3;1.82e-  
3;4.34e-4;9.69e-5;1.94e-5];  
rpm0310=[2433.24;2084.21;1169.73;664.52;387.73;228.40;136.07  
;8413.54;7.18e-  
2;75.91;56.15;40.97;27.10;19.82;13.60;9.24;6.19;4.07;2.64;1.71;1.  
07;0.66;0.405;0.240;0.14;7.83e-2;4.37e-2;1.92e-2;6.42e-3;1.82e-  
3;4.35e-4;9.72e-5;1.94e-5];  
rpm0330=[2433.81;2084.74;1170.11;664.78;387.91;228.53;136.16  
;8414.26;7.19e-  
2;75.96;56.19;41.00;27.12;19.84;13.61;9.25;6.20;4.07;2.65;1.71;1.  
07;0.66;0.405;0.240;0.14;7.84e-2;4.38e-2;1.92e-2;6.44e-3;1.83e-  
3;4.36e-4;9.74e-5;1.94e-5];
```

rpm0=[rpm0250 rpm0270 rpm0290 rpm0310 rpm0330];

%RPM 6

rpm6250=[3297.43;2901.91;1792.62;1117.79;714.28;461.32;299.9  
9;9297.64;4.87e-  
1;178.37;138.88;106.81;75.67;58.34;42.63;30.89;22.14;15.61;10.9  
2;7.61;5.17;3.48;2.30;1.49;0.95;5.89e-1;3.63e-1;1.83e-1;7.4e-  
2;2.6e-2;7.93e-3;2.27e-3;5.94e-4];  
rpm6270=[3605.13;3202.20;2041.10;1311.86;863.32;574.10;383.9  
1;9464.76;0.911;233.62;184.86;144.59;104.69;82.1;61.2;45.27;33.  
15;23.91;17.12;12.21;8.50;5.88;3.99;2.66;1.75;1.11;0.709;0.374;0.  
160;6.04e-2;1.98e-2;6.17e-3;1.75e-3];  
rpm6290=[3880.31;3476.41;2278.21;1503.77;1015.12;692.32;474.  
23;9647.85;1.59;295.07;236.73;187.82;138.56;110.26;83.61;62.95;  
46.94;34.52;25.21;18.35;13.05;9.21;6.40;4.37;2.95;1.92;1.26;0.690  
;0.311;0.123;4.34e-2;1.44e-2;4.41e-3];  
rpm6310=[4175.51;3770.40;2536.60;1717.15;1187.55;829.59;581.  
41;9762.5;2.68;369.25;300.17;241.42;181.29;146.26;112.74;86.31;  
65.49;49.04;36.48;27.05;19.63;14.15;10.04;7.02;4.85;3.25;2.17;1.2  
3;0.58;0.245;9.12e-2;3.23e-2;1.06e-2];  
rpm6330=[4486.92;4080.49;2815.55;1953.28;1383.25;989.39;709.  
28;9897.39;4.42;459.02;378.08;308.24;235.59;192.65;150.91;117.  
45;90.66;69.12;52.38;39.58;29.31;21.57;15.64;11.18;7.91;5.43;3.7  
3;2.19;1.08;0.481;0.19;7.18e-2;2.51e-2];  
rpm6=[rpm6250 rpm6270 rpm6290 rpm6310 rpm6330];

%RPM 10

rpm10250=[3319.84;2923.56;1810.13;1131.21;724.51;468.88;305.  
5;9314.83;5.09e-  
1;181.96;141.85;109.23;77.51;59.83;43.78;31.77;22.81;16.11;11.2  
9;7.88;5.36;3.62;2.39;1.55;1.00;6.17e-1;3.81e-1;1.93e-1;7.84e-  
2;2.77e-2;8.48e-3;2.45e-3;6.43e-4];  
rpm10270=[3640.72;3237.42;2071.08;1335.81;882.05;588.52;394.  
81;9511.12;9.8e-  
1;240.94;191.01;149.68;108.64;85.36;63.78;47.29;34.71;25.1;18.0

2;12.89;9;6.24;4.25;2.84;1.88;1.2;7.66e-1;4.06e-1;1.75e-1;6.64e-2;2.2e-2;6.91e-3;1.98e-3];  
rpm10290=[3937.84;3533.42;2328.11;1544.70;1047.92;718.20;494.25;9667.51;1.77;308.87;248.46;197.68;146.36;116.79;88.87;67.13;50.24;37.08;27.18;19.86;13.18;10.05;7.02;4.81;3.27;2.15;1.41;7.78e-1;3.54e-1;1.42e-1;5.05e-2;1.7e-2;5.27e-3];  
rpm10310=[4258.86;3853.23;2610.19;1778.74;1238.05;870.39;613.74;9799.05;3.08;391.8;319.62;258.01;194.67;157.63;122.03;93.83;71.53;53.82;40.24;29.99;21.88;15.86;11.32;7.96;5.54;3.73;2.52;1.44;6.9e-1;2.94e-1;1.11e-1;4.01e-2;1.33e-2];  
rpm10330=[4579.76;4173.50;2901.43;2027.61;1446.08;1041.68;751.86;9933.98;5.13;489.3;404.61;331.23;254.52;208.97;164.48;128.68;99.83;76.53;58.32;44.31;33.02;24.45;17.85;12.84;9.15;6.33;4.38;2.61;1.31;5.89e-1;2.37e-1;9.13e-2;3.25e-2];  
rpm10=[rpm10250 rpm10270 rpm10290 rpm10310 rpm10330];

%RPM 20

rpm20250=[3337.11;2940.27;1823.68;1141.63;732.40;474.77;309.87;9327.84;5.28e-1;184.77;144.17;111.13;78.95;61.01;44.69;32.47;23.34;16.51;11.58;8.1;5.52;3.73;2.47;1.61;1.03;6.4e-1;3.96e-1;2.01e-1;8.19e-2;2.9e-2;8.94e-3;2.59e-3;6.84e-4];  
rpm20270=[3672.74;3269.20;2098.28;1357.63;899.17;601.75;404.85;9524.61;1.05;247.70;196.69;154.4;112.32;88.40;66.19;49.18;36.17;26.22;18.87;13.53;9.47;6.58;4.49;3.01;2;1.28;8.2e-1;4.37e-1;1.9e-1;7.24e-2;2.42e-2;7.65e-3;2.21e-3];  
rpm20290=[3995.89;3591.76;2379.25;1586.77;1081.77;745.02;515.1;9688.90;1.97;323.26;260.73;208.01;154.57;123.69;94.42;71.57;53.75;39.82;29.3;21.49;15.41;10.97;7.69;5.3;3.62;2.39;1.57;8.75e-1;4.02e-1;1.64e-1;5.87e-2;2e-2;6.29e-3];  
rpm20310=[4339.63;3933.56;2682.15;1839.42;1288.17;911.18;646.28;9834.64;3.5;414.59;339.36;274.90;208.37;169.31;131.62;101.64;77.82;58.83;44.2;33.1;24.28;17.69;12.7;8.98;6.29;4.227;2.9;1.68;8.1e-1;3.5e-1;1.35e-1;4.93e-2;1.67e-2];



rpm20330=[4664.49;4258.74;2981.24;2097.46;1505.71;1091.74;79  
2.96;9964.43;5.87;518.73;430.52;353.77;273.19;225.14;178.01;13  
9.89;109.06;84.03;64.37;49.16;36.84;27.44;20.15;14.59;10.47;7.29  
;5.08;3.05;1.55;7.1e-1;2.91e-1;1.14e-1;4.14e-2];  
rpm20=[rpm20250 rpm20270 rpm20290 rpm20310 rpm20330];

%RPM 30

rpm30250=[3340.06;2943.12;1826.00;1143.41;733.75;475.78;310.  
61;9330.03;5.31e-  
1;185.25;144.57;111.46;79.2;61.21;44.85;32.59;23.43;16.58;11.64;  
8.13;5.54;3.75;2.48;1.62;1.04;6.44e-1;3.99e-1;2.02e-1;8.25e-  
2;2.93e-2;9.02e-3;2.62e-3;6.91e-4];  
rpm30270=[3679.79;3276.21;2104.30;1362.47;902.97;604.70;407.  
08;9527.43;1.06;249.21;197.97;155.45;113.14;80.09;66.73;40.60;3  
6.50;26.47;19.06;13.67;9.58;6.66;4.55;3.05;2.03;1.29;0.83;0.44;0.1  
92;7.37e-2;2.47e-2;7.82e-3;2.27e-3];  
rpm30290=[4011.14;3606.96;2392.59;1597.76;1090.64;752.06;520  
.59;9694.71;2.02;327.06;263.97;210.75;156.74;125.52;95.90;72.76  
;54.69;40.55;29.87;21.93;15.74;11.22;7.87;5.43;3.71;2.45;1.62;0.9;  
0.41;0.169;6.1e-2;2.09e-2;6.58e-3];  
rpm30310=[4359.94;3953.79;2700.36;1854.86;1300.98;921.66;654  
.67;9843.52;3.61;420.48;344.48;279.30;211.94;172.36;134.13;103.  
70;79.48;60.15;45.25;33.93;24.92;18.18;13.07;9.25;6.49;4.41;2.99;  
1.73;0.843;0.365;0.1411;5.19e-2;1.76e-2];  
rpm30330=[4685.02;4279.45;3000.80;2114.70;1520.52;1104.24;80  
3.28;9971.31;6.06;526.14;437.07;359.49;277.93;229.27;181.47;14  
2.77;111.44;85.96;65.93;50.43;37.84;28.22;20.76;15.05;10.82;7.54  
;5.27;3.17;1.61;0.742;0.305;0.120;4.39e-2];  
rpm30=[rpm30250 rpm30270 rpm30290 rpm30310 rpm30330];

%RPM 40

rpm40250=[3340.86;2943.89;1836.63;1143.90;734.11;476.06;310.  
81;9330.62;5.32e-  
1;185.39;144.68;111.54;79.27;61.26;44.89;32.62;23.45;16.59;11.6

5;8.14;5.55;3.75;2.49;1.62;1.04;6.45e-1;3.99e-1;2.03e-1;8.27e-2;2.93e-2;9.04e-3;2.62e-3;6.93e-4];  
rpm40270=[3682.34;3278.74;2106.48;1364.22;904.35;605.77;407.89;9528.44;1.06;249.76;198.43;155.84;113.44;89.34;66.93;49.76;36.63;26.57;19.13;13.73;9.62;6.69;4.57;3.07;2.04;1.30;0.837;0.446;0.194;7.43e-2;2.49e-2;7.88e-3;2.29e-3];  
rpm40290=[4017.83;3613.61;2398.43;1602.58;1094.53;755.15;523.9697.20;2.05;328.72;265.4;211.95;157.7;126.33;96.55;72.38;55.11;40.88;30.12;22.12;15.88;11.33;7.95;5.49;3.75;2.48;1.64;0.91;0.42;0.172;6.21e-2;2.13e-2;6.71e-3];  
rpm40310=[4368.87;2962.68;2708.38;1861.67;1306.64;926.29;658.38;9847.41;3.67;423.09;346.75;281.25;213.53;173.72;135.25;104.61;80.22;60.75;45.71;34.3;25.2;18.4;13.24;9.38;6.58;4.47;3.04;1.76;0.85;0.3729;0.144;5.31e-2;1.81e-2];  
rpm40330=[4693.87;4288.38;3009.26;2122.17;1526.94;1109.68;807.76;9974.21;6.15;529.37;439.92;361.98;280.01;231.07;182.98;144.03;112.48;86.81;66.62;50.98;38.28;28.57;21.03;15.25;10.97;7.66;5.35;3.22;1.64;0.757;0.312;0.123;4.5e-2];  
rpm40=[rpm40250 rpm40270 rpm40290 rpm40310 rpm40330];

#### %RPM 54

rpm54250=[3340.86;2943.89;1826.63;1143.9;734.11;476.06;310.81;9330.62;5.32e-1;185.39;144.68;111.54;79.27;61.26;44.89;32.62;23.45;16.59;11.65;8.14;5.55;3.75;2.49;1.62;1.04;6.45e-1;3.99e-1;2.03e-1;8.27e-2;2.93e-2;9.04e-3;2.62e-3;6.93e-4];  
rpm54270=[3682.58;3278.98;2106.68;1364.38;904.48;605.86;407.97;9528.53;1.06;249.81;198.47;155.87;113.47;89.36;66.94;49.77;36.64;26.57;19.14;13.73;9.62;6.69;4.57;3.07;2.04;1.30;0.837;0.446;0.194;7.43e-2;2.49e-2;7.89e-3;2.29e-3];  
rpm54290=[4018.58;3614.37;2399.09;1603.13;1094.97;755.50;523.27;9697.58;2.055;328.91;265.56;212.09;157.81;126.42;96.63;73.34;55.15;40.91;30.15;22.14;15.9;11.34;7.96;5.50;3.76;2.48;1.64;0.915;0.421;0.172;6.22e-2;2.13e-2;6.73e-3];

rpm54310=[4369.91;3963.72;2709.32;1862.46;1307.30;926.83;658.82;9847.85;2.67;423.40;347.01;281.47;213.71;173.88;135.38;104.72;80.31;60.82;45.77;34.34;25.24;18.42;13.26;9.39;6.59;4.48;3.05;1.77;0.86;0.373;0.144;5.32e-2;1.81e-2];  
rpm54330=[4694.87;4289.40;3010.23;2123.02;1527.68;1110.3;808.28;9974.53;6.16;529.74;440.25;362.26;280.24;231.28;183.16;144.18;112.6;86.91;66.70;51.04;38.33;28.61;21.06;15.28;10.99;7.67;5.36;3.23;1.65;0.759;0.313;0.123;4.52e-2];  
rpm54=[rpm54250 rpm54270 rpm54290 rpm54310 rpm54330];

#### %RPM 60

rpm60250=[3340.86;2943.89;1826.63;1143.9;734.11;476.06;310.81;9330.62;5.32e-1;185.39;144.68;111.54;79.27;61.26;44.89;32.62;23.45;16.59;11.65;8.149;5.55;3.75;2.49;1.62;1.04;6.45e-1;3.99e-1;2.03e-1;8.27e-2;2.93e-2;9.04e-3;2.62e-3;6.93e-4];  
rpm60270=[3682.58;3278.98;2106.68;1364.38;904.48;605.86;407.97;9528.53;1.06;249.81;198.47;155.87;113.47;89.36;66.94;49.77;36.64;26.57;19.14;13.73;9.62;6.69;4.57;3.07;2.04;1.30;0.837;0.446;0.194;7.43e-2;2.49e-2;7.89e-3;2.29e-3];  
rpm60290=[4019.13;3614.91;2399.57;1603.52;1095.28;755.75;523.47;9697.79;2.05;329.05;265.68;212.18;157.89;126.58;96.68;73.38;55.19;40.94;30.17;22.16;15.91;11.35;7.97;5.5;3.76;2.48;1.64;0.916;0.422;0.172;6.23e-2;2.14e-2;6.74e-3];  
rpm60310=[4370.65;3964.45;2709.98;2863.03;1307.77;927.21;659.13;9848.18;3.68;423.62;347.20;281.64;213.85;173.99;135.47;104.79;80.37;60.86;45.81;34.37;25.26;18.44;13.27;9.4;6.6;4.488;3.055;1.77;0.861;0.374;0.144;5.33e-2;1.82e-2];  
rpm60330=[4695.59;4290.13;3010.92;2123.63;1528.20;1110.74;808.65;9974.76;6.17;530.00;440.48;362.47;280.41;231.42;183.28;144.28;112.68;86.98;66.76;51.09;38.37;28.63;21.08;15.29;11.00;7.68;5.37;3.23;1.65;0.76;0.313;0.123;4.53e-2];  
rpm60=[rpm60250 rpm60270 rpm60290 rpm60310 rpm60330];

#### %Zi

```

zi=[7.09e-6;2.84e-5;2.73e-3;2.92e-3;5.58e-3;4.70e-3;6.23e-
3;2.64e-2;0.1535;4.18e-3;3.24e-3;8.37e-3;9.88e-3;1.02e-2;1.13e-
2;1.25e-2;1.38e-2;1.6e-2;1.92e-2;2.39e-2;1.65e-2;1.93e-2;2.09e-
2;2.44e-2;3.44e-2;4.24e-2;9.15e-2;0.1782;8.08e-2;4.39e-2;2.38e-
2;2.53e-2;6.38e-2];

```

```

%Case RPM

```

```

disp('Berikut pilihannya')

```

```

disp('1. RPM = 0')

```

```

disp('2. RPM = 6')

```

```

disp('3. RPM = 10')

```

```

disp('4. RPM = 20')

```

```

disp('5. RPM = 30')

```

```

disp('6. RPM = 40')

```

```

disp('7. RPM = 54')

```

```

disp('8. RPM = 60')

```

```

method1=input('1/2/3/4/5/6/7/8 = ');

```

```

switch method1

```

```

    case 1

```

```

        %Case RPM

```

```

        disp('Berikut pilihannya')

```

```

        disp('1. T = 250 C')

```

```

        disp('2. T = 270 C')

```

```

        disp('3. T = 290 C')

```

```

        disp('4. T = 310 C')

```

```

        disp('5. T = 330 C')

```

```

        method2=input('1/2/3/4/5 = ');

```

```

        switch method2

```

```

            case 1

```

```

                sum=0;

```

```

                for i=1:33

```

```

                    sum=sum+(zi(i)*rpm0(i,1)/(1+v*(rpm0(i,1)-1)));

```

```

                end

```

```

                root=solve(sum==1,v)

```

```

                vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');

```

```

for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm0(i,1))/(1+(vapor*(rpm0(i,1)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm0(i,1);
end
case 2
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm0(i,2))/(1+v*(rpm0(i,2)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm0(i,2))/(1+(vapor*(rpm0(i,2)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm0(i,2);
    end
case 3
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm0(i,3))/(1+v*(rpm0(i,3)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm0(i,3))/(1+(vapor*(rpm0(i,3)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm0(i,3);
    end
case 4
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm0(i,4))/(1+v*(rpm0(i,4)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm0(i,4))/(1+(vapor*(rpm0(i,4)-1)));

```

```

        x(i)=y(i)/rpm0(i,4);
    end
case 5
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm0(i,5)/(1+v*(rpm0(i,5)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm0(i,5))/(1+(vapor*(rpm0(i,5)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm0(i,5);
    end
end
case 2
    %Case RPM
    disp('Berikut pilihannya')
    disp('1. T = 250 C')
    disp('2. T = 270 C')
    disp('3. T = 290 C')
    disp('4. T = 310 C')
    disp('5. T = 330 C')
    method2=input('1/2/3/4/5 = ');
    switch method2
        case 1
            sum=0;
            for i=1:33
                sum=sum+(zi(i)*rpm6(i,1)/(1+v*(rpm6(i,1)-1)));
            end
            root=solve(sum==1,v)
            vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
            for i=1:33
                y(i)=(zi(i)*rpm6(i,1))/(1+(vapor*(rpm6(i,1)-1)));
                x(i)=y(i)/rpm6(i,1);
            end
        end
    end
end

```

```

case 2
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm6(i,2)/(1+v*(rpm6(i,2)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm6(i,2))/(1+(vapor*(rpm6(i,2)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm6(i,2);
    end
case 3
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm6(i,3)/(1+v*(rpm6(i,3)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm6(i,3))/(1+(vapor*(rpm6(i,3)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm6(i,3);
    end
case 4
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm6(i,4)/(1+v*(rpm6(i,4)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm6(i,4))/(1+(vapor*(rpm6(i,4)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm6(i,4);
    end
case 5
    sum=0;

```

```

    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm6(i,5)/(1+v*(rpm6(i,5)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm6(i,5))/(1+(vapor*(rpm6(i,5)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm6(i,5);
    end
end
case 3
    %Case RPM
    disp('Berikut pilihannya')
    disp('1. T = 250 C')
    disp('2. T = 270 C')
    disp('3. T = 290 C')
    disp('4. T = 310 C')
    disp('5. T = 330 C')
    method2=input('1/2/3/4/5 = ');
    switch method2
        case 1
            sum=0;
            for i=1:33
                sum=sum+(zi(i)*rpm10(i,1)/(1+v*(rpm10(i,1)-1)));
            end
            root=solve(sum==1,v)
            vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
            for i=1:33
                y(i)=(zi(i)*rpm10(i,1))/(1+(vapor*(rpm10(i,1)-1)));
                x(i)=y(i)/rpm10(i,1);
            end
        case 2
            sum=0;
            for i=1:33
                sum=sum+(zi(i)*rpm10(i,2)/(1+v*(rpm10(i,2)-1)));

```



```

end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm10(i,2))/(1+(vapor*(rpm10(i,2)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm10(i,2);
end
case 3
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm10(i,3))/(1+v*(rpm10(i,3)-1));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm10(i,3))/(1+(vapor*(rpm10(i,3)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm10(i,3);
end
case 4
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm10(i,4))/(1+v*(rpm10(i,4)-1));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm10(i,4))/(1+(vapor*(rpm10(i,4)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm10(i,4);
end
case 5
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm10(i,5))/(1+v*(rpm10(i,5)-1));
end
root=solve(sum==1,v)

```

```

        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm10(i,5))/(1+(vapor*(rpm10(i,5)-1)));
            x(i)=y(i)/rpm10(i,5);
        end
    end
case 4
%Case RPM
disp('Berikut pilihannya')
disp('1. T = 250 C')
disp('2. T = 270 C')
disp('3. T = 290 C')
disp('4. T = 310 C')
disp('5. T = 330 C')
method2=input('1/2/3/4/5 = ');
switch method2
    case 1
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm20(i,1))/(1+v*(rpm20(i,1)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm20(i,1))/(1+(vapor*(rpm20(i,1)-1)));
            x(i)=y(i)/rpm20(i,1);
        end
    case 2
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm20(i,2))/(1+v*(rpm20(i,2)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33

```

```

        y(i)=(zi(i)*rpm20(i,2))/(1+(vapor*(rpm20(i,2)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm20(i,2);
    end
case 3
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm20(i,3))/(1+v*(rpm20(i,3)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm20(i,3))/(1+(vapor*(rpm20(i,3)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm20(i,3);
    end
case 4
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm20(i,4))/(1+v*(rpm20(i,4)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm20(i,4))/(1+(vapor*(rpm20(i,4)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm20(i,4);
    end
case 5
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm20(i,5))/(1+v*(rpm20(i,5)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm20(i,5))/(1+(vapor*(rpm20(i,5)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm20(i,5);
    end

```

```

        end
    end
case 5
    %Case RPM
    disp('Berikut pilihannya')
    disp('1. T = 250 C')
    disp('2. T = 270 C')
    disp('3. T = 290 C')
    disp('4. T = 310 C')
    disp('5. T = 330 C')
    method2=input('1/2/3/4/5 = ');
    switch method2
        case 1
            sum=0;
            for i=1:33
                sum=sum+(zi(i)*rpm30(i,1)/(1+v*(rpm30(i,1)-1)));
            end
            root=solve(sum==1,v)
            vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
            for i=1:33
                y(i)=(zi(i)*rpm30(i,1))/(1+(vapor*(rpm30(i,1)-1)));
                x(i)=y(i)/rpm30(i,1);
            end
        case 2
            sum=0;
            for i=1:33
                sum=sum+(zi(i)*rpm30(i,2)/(1+v*(rpm30(i,2)-1)));
            end
            root=solve(sum==1,v)
            vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
            for i=1:33
                y(i)=(zi(i)*rpm30(i,2))/(1+(vapor*(rpm30(i,2)-1)));
                x(i)=y(i)/rpm30(i,2);
            end
        case 3

```

```

sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm30(i,3)/(1+v*(rpm30(i,3)-1)));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm30(i,3))/(1+(vapor*(rpm30(i,3)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm30(i,3);
end
case 4
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm30(i,4)/(1+v*(rpm30(i,4)-1)));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm30(i,4))/(1+(vapor*(rpm30(i,4)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm30(i,4);
end
case 5
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm30(i,5)/(1+v*(rpm30(i,5)-1)));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm30(i,5))/(1+(vapor*(rpm30(i,5)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm30(i,5);
end
end
case 6
    %Case RPM

```

```

disp('Berikut pilihannya')
disp('1. T = 250 C')
disp('2. T = 270 C')
disp('3. T = 290 C')
disp('4. T = 310 C')
disp('5. T = 330 C')
method2=input('1/2/3/4/5 = ');
switch method2
    case 1
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm40(i,1)/(1+v*(rpm40(i,1)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm40(i,1))/(1+(vapor*(rpm40(i,1)-1)));
            x(i)=y(i)/rpm40(i,1);
        end
    case 2
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm40(i,2)/(1+v*(rpm40(i,2)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm40(i,2))/(1+(vapor*(rpm40(i,2)-1)));
            x(i)=y(i)/rpm40(i,2);
        end
    case 3
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm40(i,3)/(1+v*(rpm40(i,3)-1)));
        end

```

```

root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm40(i,3))/(1+(vapor*(rpm40(i,3)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm40(i,3);
end
case 4
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm40(i,4)/(1+v*(rpm40(i,4)-1)));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm40(i,4))/(1+(vapor*(rpm40(i,4)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm40(i,4);
end
case 5
sum=0;
for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm40(i,5)/(1+v*(rpm40(i,5)-1)));
end
root=solve(sum==1,v)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm40(i,5))/(1+(vapor*(rpm40(i,5)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm40(i,5);
end
end
case 7
%Case RPM
disp('Berikut pilihannya')
disp('1. T = 250 C')
disp('2. T = 270 C')
disp('3. T = 290 C')

```

```

disp('4. T = 310 C')
disp('5. T = 330 C')
method2=input('1/2/3/4/5 = ');
switch method2
    case 1
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm54(i,1)/(1+v*(rpm54(i,1)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm54(i,1))/(1+(vapor*(rpm54(i,1)-1)));
            x(i)=y(i)/rpm54(i,1);
        end
    case 2
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm54(i,2)/(1+v*(rpm54(i,2)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm54(i,2))/(1+(vapor*(rpm54(i,2)-1)));
            x(i)=y(i)/rpm54(i,2);
        end
    case 3
        sum=0;
        for i=1:33
            sum=sum+(zi(i)*rpm54(i,3)/(1+v*(rpm54(i,3)-1)));
        end
        root=solve(sum==1,v)
        vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
        for i=1:33
            y(i)=(zi(i)*rpm54(i,3))/(1+(vapor*(rpm54(i,3)-1)));

```



```

        x(i)=y(i)/rpm54(i,3);
    end
case 4
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm54(i,4)/(1+v*(rpm54(i,4)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm54(i,4))/(1+(vapor*(rpm54(i,4)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm54(i,4);
    end
case 5
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm54(i,5)/(1+v*(rpm54(i,5)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm54(i,5))/(1+(vapor*(rpm54(i,5)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm54(i,5);
    end
end
case 8
    %Case RPM
    disp('Berikut pilihannya')
    disp('1. T = 250 C')
    disp('2. T = 270 C')
    disp('3. T = 290 C')
    disp('4. T = 310 C')
    disp('5. T = 330 C')
    method2=input('1/2/3/4/5 = ');
    switch method2

```

```

case 1
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm60(i,1)/(1+v*(rpm60(i,1)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm60(i,1))/(1+(vapor*(rpm60(i,1)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm60(i,1);
    end
case 2
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm60(i,2)/(1+v*(rpm60(i,2)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm60(i,2))/(1+(vapor*(rpm60(i,2)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm60(i,2);
    end
case 3
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm60(i,3)/(1+v*(rpm60(i,3)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,0.5)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm60(i,3))/(1+(vapor*(rpm60(i,3)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm60(i,3);
    end
case 4
    sum=0;

```

```

for i=1:33
    sum=sum+(zi(i)*rpm60(i,4)/(1+v*(rpm60(i,4)-1)));
end
root=solve(sum==1,0.5)
vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
for i=1:33
    y(i)=(zi(i)*rpm60(i,4))/(1+(vapor*(rpm60(i,4)-1)));
    x(i)=y(i)/rpm60(i,4);
end
case 5
    sum=0;
    for i=1:33
        sum=sum+(zi(i)*rpm60(i,5)/(1+v*(rpm60(i,5)-1)));
    end
    root=solve(sum==1,v)
    vapor=input('V hasil solve 0<V<1 = ');
    for i=1:33
        y(i)=(zi(i)*rpm60(i,5))/(1+(vapor*(rpm60(i,5)-1)));
        x(i)=y(i)/rpm60(i,5);
    end
end
end
ylube=y(9)+y(19)+y(20)+y(21)+y(22)+y(23)+y(24)+y(25)+y(26)+
y(27)+y(28)+y(29)+y(30)+y(31)+y(32)
yres=y(33)

```

## RIWAYAT PENULIS



**Robbi Habibi Malik Utomo** lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 2 Mei 1996. Menempuh pendidikan formal di SD Negeri Karah 1 Surabaya pada tahun 2002-2008, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 22 Surabaya tahun 2008-2011 dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 15 Surabaya tahun 2011-2014. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan ke tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi

Industri, Departemen Teknik Kimia pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 02211440000103. Penulis mengambil tugas akhir di bidang perancangan dan pengendalian proses dengan judul tugas akhir **"Perancangan Proses Pemisahan Fraksi Berat Dalam Minyak Pelumas Bekas dengan Vacuum Distillation dan Thin Film Evaporator"** di bawah bimbingan Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D. dan Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS dan pernah menjadi ketua bidang kewirausahaan pada periode kepengurusan 2016/2017. Penulis pernah mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT Pupuk Kalimantan Timur, Bontang pada tahun 2017.



**Alghifari Jabbar Rifliansah** lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 27 Januari 1998. Menempuh pendidikan formal di SDN Sidokare IV Sidoarjo pada tahun 2004-2010, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Sidoarjo tahun 2010-2012 dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Sidoarjo tahun 2012-2014. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan ke tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri,

Departemen Teknik Kimia pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 02211440000071. Penulis mengambil tugas akhir di bidang perancangan dan pengendalian proses dengan judul tugas akhir **”Perancangan Proses Pemisahan Fraksi Berat Dalam Minyak Pelumas Bekas dengan *Vacuum Distillation* dan *Thin Film Evaporator*”** di bawah bimbingan Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D. dan Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS. Penulis pernah mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT Pupuk PUSRI, Palembang, pada tahun 2017.